Q.

THE UNIVERSITY
OF ILLINOIS
LIBRARY

508.05
ZE
v.45

Digitized by the Internet Archive
in 2026 with funding from
University of Illinois Urbana-Champaign

https://archive.org/details/messtechnik4519unse

ZEITSCHRIFT
FÜR
INSTRUMENTENKUNDE.

Organ

für

Mitteilungen aus dem gesamten Gebiete der wissenschaftlichen Technik.

Herausgegeben

unter Mitwirkung der

Physikalisch-Technischen Reichsanstalt

von

L. Ambronn in Göttingen, **W. Breithaupt** in Cassel, **M. Edelmann** in München, **P. Guthnick** in Neubabelsberg, **O. Günther** in Braunschweig, **W. Haensch** in Berlin, **K. Haußmann** in Berlin, **C. Hensoldt** in Wetzlar, **W. Hildebrand** in Freiberg i. S., **E. Kohlschütter** in Potsdam, **H. Ludendorff** in Potsdam, **H. Maurer** in Berlin, **W. Nernst** in Berlin, **C. Pulfrich** in Jena, **M. v. Rohr** in Jena, **W. Sartorius** in Göttingen, **A. Schmidt** in Cöln a. Rh., **R. Steinheil** in München, **R. Straubel** in Jena, **E. Warburg** in Berlin, **F. Weidert** in Berlin, **E. Wiechert** in Göttingen.

Schriftleitung: **F. Göpel** in Charlottenburg.

Fünfundvierzigster Jahrgang 1925.

Berlin.
Verlag von Julius Springer.
1925.

ZE
V. 45

Inhaltsverzeichnis.

Seite

Zur beugungstheoretischen Untersuchung optischer Systeme. Von Rob. Richter 1
Vergleichung des neuen Zeiss-Theodoliten mit heutigen Konstruktionen. Von W. Schermerhorn 16
Über ein den Empfindungsstufen des Auges tunlichst angepaßtes Photometer, Stufenphotometer genannt, und über seine Verwendung als Farbmesser, Trübungsmesser, Kolloidometer, Kolorimeter und Vergleichsmikroskop. Von C. Pulfrich 35, 61, 109
Winddruck- und Windrichtungsanzeiger mit elektrischer Übertragung. Von E. Becker . . . 44
Die Prüfung der Kreisteilungen von Theodoliten und Universalinstrumenten. Von Hk. J. Heuvelink 70
Grundlagen für einen Voranschlag der Genauigkeit von Einwägungen II. O. mit einspielender Libelle. Von K. Lüdemann 84
Die Brauchbarkeit von Drehwagen im Felde. Von C. Heiland 89
Ein neuer Steilschachttheodolit für Nachtragsmessungen. Von H. Marchand 120
Die Tätigkeit der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt im Jahre 1924 . . . . . . 139, 185, 225
Über Neuerungen im Bau von Laboratoriumswagen. Von W. Block 165
Mikrometer und Meßapparate. IV. Von P. Duckert 176
Über die Berücksichtigung von Erdkrümmung und Refraktion bei der mechanischen Auswertung von Stereophotogrammen. Von C. Aschenbrenner 203
Über die Tiefe der Bilder optischer Systeme. Von H. Krüss 213
Über die Konstruktion eines Mikromanometers. Von W. Block 220
Hilfsgeräte zur Darstellung von Schwerkraftsgradienten und magnetischen Störungsvektoren. Von C. Heiland 244
Ein bimetallisches Aktinometer mit Kompensationseinrichtung. Von L. W. Pollak 247
Nachruf auf Hugo Krüss. Von A. Blaschke 265
Über ein von Ibn Sînâ (Avicenna) hergestelltes Beobachtungsinstrument. Von E. Wiedemann 269
Eine Schraubenprüfung. Von A. Repsold 276
Über Röntgenröhren. Von H. Behnken 287
Ein neuer Kataster-Theodolit und Präzisions-Tachymeter. Von G. Breithaupt u. H. Marchand 303
Das neue Elektro-Mikrophotometer der Tübinger Sternwarte (Oesterberg). Von H. Rosenberg 313
Über ein neues halbautomatisches Entzerrungsgerät für den praktischen topographischen Gebrauch. Von C. Aschenbrenner 333
Der neue Wildsche Theodolit mit Präzisionsdistanzmesser. Von E. Hammer 353
Über Apparate zur mechanischen Differentiation. Von H. Cranz und H. Härlen 365
Apparat aus Quarzglas zur Bestimmung von Wärmeausdehnungszahlen bei hohen Temperaturen. Von H. Sieglerschmidt 374
Zur Entwicklung des ausziehbaren Handfernrohrs. Von M. von Rohr 378
Lichtstärke und Sichtvermögen von Ferngläsern. Von H. Moeller 384
Ein neuer Monochromator mit Vorzerleger, für das Gebiet von 200 mμ bis 2 μ. Von C. Leiss 387
Chemische Glasprüfungen. Von W. Tepohl 389
Die „effektive Wellenlänge" bei der Bestimmung des optischen Drehungsvermögens. Von H. Schulz 393
Florenz Sartorius † 409
Die Messung der Sicht mit dem Sichtmesser. Von A. Wigand 411
Instrumente und Methoden zur Ermittlung nutzbarer Lagerstätten. Von C. Heiland 417
Die Voigtländersche optische Werkstätte und ihre Umwelt. Ein Ausschnitt aus einer weitergreifenden Darstellung photographisch-optischer Betätigung. Von M. v. Rohr . . 436, 470
Otto Lummer † 465
Über den Gebrauch von Lichtfiltern bei polarimetrischen Messungen. Von H. Schulz . . . 468

618007

Seite

Ein elektrischer Mikrotaster zur Zentrierung einer Kristallfläche in der Achse eines Spektrometers. Von L. Biermaß . . . 483
Die Entwicklung, Empfindlichkeit und Verläßlichkeit der Eötvösschen Original-Drehwagen. Von D. Pekár . . . 486
Über die Zuverlässigkeit der Angaben von Registrierphotometern mit Photozellen. Bemerkung zu einer Veröffentlichung des Herrn Rosenberg. Von P. P. Koch . . . 494
Professor Hammer † . . . 513
Ein einfaches Verfahren zur Eichung von Mikromanometern. Von Franz Levy . . . 515
Über einen Zusatzapparat zum Stufen-Photometer, der zur bequemeren Ermittelung des Farbtones einer Farbvorlage dient, und daran anschließend Forderung eines gleichabständigen Farbenkreises. Von C. Pulfrich . . . 521
Die effektive Wellenlänge von Lichtfiltern und die Methoden zu ihrer Bestimmung, insbesondere bei der optischen Pyrometrie. Von F. Henning . . . 530
Ein einfaches Polariskop. Von H. Schulz . . . 539
Über die Zuverlässigkeit der Angaben von Registrierphotometern mit Photozellen. Erwiderung auf die Bemerkung des Herrn Koch. Von H. Rosenberg . . . 540
Inversoren. Von Dr. Otto v. Gruber . . . 561
Die gestreckte Bandfederwage. Von H. Hermann . . . 573
Ein neues magnetisches Horizontal-Variometer der Gebr. Ruhstrat A.-G., Göttingen. Von Dipl.-Ing. E. Brammer . . . 576
Synthetische Edelsteine, ihre Herstellung und technische Verwendung. Von A. Werner . . . 578

Referate.

Über elastische Nachwirkung, elastische Hysteresis und innere Reibung . . . 48
Vergleichende Geräuschmessung . . . 49
Zur Theorie des Lautsprechers . . . 49
Die Verallgemeinerung des Hyperbelsatzes der geometrischen Optik . . . 49
Die Ausbreitung und Zerstreuung des Lichtes in optisch aktiven Substanzen . . . 50
Der Cosinus-Satz von A. E. Conrady und T. T. Smith . . . 50
Ein neues Universalokular . . . 50
Ein neuer Schwärzungsmesser mit Selenzelle . . . 51
Änderung des photoelektrischen Effekts mit der Temperatur bei Kaliumzellen . . . 51
Geschmolzener blasenfreier Quarz, eine geschichtliche Richtigstellung. — Über die Durchlässigkeit von Quarzglas . . . 52
Herstellung und Versilberung von Quarzfäden . . . 52
Über die Kolbenbewegung der Druckwage . . . 95
Über die Berechnung der Aberrationen dritter Ordnung auf Grund der im Troymanschen Interferometer beobachteten Interferenzbilder . . . 95
Über innere Beziehungen zwischen dem Dingraum und dem durch ein optisches Instrument entworfenen Bilde . . . 95
Die Abbesche Zahl . . . 96
Die Beleuchtung einer Fläche durch einen Spektroskopspalt . . . 96
Über die Michelson-Cottansche Methode zur Prüfung optischer Systeme . . . 97
Die Einteilung der Entfernungsskalen photographischer Objektive im Zusammenhang mit der Ermittelung der Objektentfernung . . . 99
Über ein Mikropyrometer mit spektraler Zerlegung und die optisch beobachteten Schmelzpunkte einiger Platinmetalle . . . 100
Ausdehnungsmessungen bei tiefen Temperaturen mit Doppelspiegeldilatometer . . . 102
Einige Instrumente zum Nachweis ultraroter Strahlung . . . 103
Preisausschreiben der deutschen Reichsbahn-Gesellschaft zur Erlangung eines Spannungsmessers und eines Schwingungsmessers für die Bestimmung der dynamischen Beanspruchung eiserner Brücken . . . 103
Theorie und Prüfung rechtwinkliger Prismen . . . 156
Ist die Unterscheiduug von selbstleuchtenden und nichtselbstleuchtenden Objekten für die Auswirkungen im Abbildungsvorgang wesentlich? . . . 156
Zwei neue Methoden zur Bestimmung der Oberfläche und des optischen Systems . . . 157
Zur Vorgeschichte der Abbeschen Theorie der mikroskopischen Wahrnehmung . . . 157

Seite

Zur Theorie der Spiegelkondensatoren für Dunkelfeldbeleuchtung und Ultramikroskopie. Vervollkommnungen bisheriger Einrichtungen 158
I. Analytische Entwicklungen zur Frage rationeller Beleuchtungsanordnungen für Mikrophotographie und Mikroprojektion. — II. Bericht über einen neuen mikrophotographischen Apparat der optischen Werke E. Leitz 159
Schnelle Methode zur trigonometrischen Berechnung des Lichtstrahlenganges durch ein optisches System 160
Ein neuer Autokollimator 162
Rotierender Sektor 163
Wird die Leistung des Auges durch die Farbe der Beleuchtung beeinflußt? 207
Photoelektrisches Flimmerphotometer 207
Eine mechanisch-graphische Interpolationsmethode als Ersatz für die Hartmannsche Dispersionsformel 208
Anwendung der Kontrasttheorie auf das Fadenmikrometer 208
Betrachtung über die Bedeutung der Foucaultschen Messerschneiden-Methode in Anwendung auf brechende Systeme 209
Ein neues vorzüglich anallaktisches Fernrohr mit Innenabbildung 209
Die Methoden der „Kurzzeitmessung“ beim Behmlot 248
Ein weiterer amerikanischer Vorschlag für die Tachymeterablesungen 253
Eine bisher wenig bekannte Kopie der Peru-Toise vom Jahre 1762 254
Eine römische Groma 254
Über ein neues Prinzip optischer Abbildung für Zwecke astronomischer Messungen 256
Die Marskanäle als optische Täuschungen 257
Die Messung der chromatischen Aberration auf dem Hilgerschen Linsenprüfungs-Interferometer 258
Die Addition von Aberrationen 258
Betrachtungen zur Darstellung des Abbildungsvorganges im Mikroskop und zur Frage des Auflösungsvermögens im Hellfeld und Dunkelfeld 258
Lupenvergrößerung 259
Ein Monochromator von großer Lichtstärke und mit wenig diffusem Licht 259
Bemerkung über eine zweckmäßige Bank für die Prüfung von Fernrohrobjektiven 260
Spiegelteleskop für die Sternwarte Simeïs-Krim 306
Zur qualitativen Untersuchung und Demonstration von Linsenfehlern 307
Apparat zur Bestimmung der Vergrößerung der Mikroskope 307
Demonstration einiger Photogramme zur Theorie der optischen Abbildung 308
Über die Zulässigkeit von Blasen in optischen Instrumenten 308
Methode zur Messung des Durchlässigkeitsvermögens von reflektierend-ablenkenden Systemen 309
Abgeändertes Sphärometer 309
Eine neue Reise-Nivellierlatte und ein Taschen-Universal 309
Untersuchung eines astronomischen Objektivs 359
Die Gültigkeitsgrenze des geometrischen Gesetzes der Lichtbrechung 359
Weitere Beobachtungen über die Gültigkeitsgrenze des geometrischen Gesetzes der Lichtbrechung 360
Zur heterochromatischen Photometrie 360
Photographische Objektive aus vier getrennten Linsen 360
Aberrationen photographischer Anastigmate großer Brennweite 361
Der Taylor-Hobson F/2 Anastigmat 361
Ein Komparator für Normalmaßstäbe mit Verwendung von Lichtwellen als Messungshilfsmittel. — Ein Universal-Interferometer. — Ein Torsionsmesser für Messung mit Lichtwellen und seine Verwendung mit dem Universal-Interferometer 399
Der große Meridiankreis und das Boutysche Mikrometer 401
Geometrische Berechnung der Beleuchtung durch Lichtquellen von einfacher Gestalt 402
Präzisions-Refraktometer für Flüssigkeiten 403
Beiträge zur Theorie des Polarimeters Martens 404
Das Instrumentenwesen auf der geodätischen Woche in Köln 454
Präzisions-Manometer 458
Über ein Äquatoreal von neuer Form, „Tafel-Äquatoreal“ genannt und hauptsächlich für astrophysikalische Forschungen bestimmt 459

Seite
Eine allgemeine Lösung der Aberrationsgleichungen I. O. . . . 460
Beidäugiges Sehen und Raumsinn . . . 460
Ein Weitwinkel-Stereoskop und ein Weitwinkel-Sucher . . . 460
Die Herstellung von Kupfer-Spiegeln auf Glas . . . 461
Integrator . . . 496
Topographische Luftaufnahmen . . . 496
Ein neues Verfahren zur photographischen Aufnahme sehr schnell verlaufender (ballistischer) Vorgänge bei Tageslicht . . . 498
Die Bildfeldkrümmung als Funktion der Blendenstellung . . . 500
Die hintere Scheitelstärke eines Linsensystems . . . 500
Die Theorie der Neutralisation . . . 501
Einige beugungstheoretische Probleme . . . 501
Über Mikroskope und Doppelokulare für binokulare und stereoskopische Beobachtung . . . 501
Das Kühlen und Nachkühlen von Glas . . . 502
Spektralphotometer zu Messungen mit der Photometerbank . . . 502
Eine verbesserte Heizeinrichtung für das Refraktometer nach Pulfrich . . . 503
Zwei neue Quecksilberdampf-Bogenlampen . . . 504
Eine Umkonstruktion des Zweifaden-Elektrometers. — Ein Zylinderkondensator zur Messung kleiner Kapazitäten . . . 505
Kontakt-Konstruktion für Widerstandskästen . . . 506
Preßluftmesser . . . 541
Eine schnell arbeitende Torsionswage . . . 543
Über Schlüpfungs- und Drehzahlmessungen . . . 544
Der Chronometer-Kongreß . . . 545
Weitere neue schweizerische „Präzisionsdistanzmesser“ . . . 546
Über einen Anastigmaten von Aplanatform . . . 549
Prismenwirkung im Nahteil von Zweistärkengläsern . . . 549
Über astigmatische und orthoskopische Korrektionen . . . 550
Dunkelfeldbeleuchtung im auffallenden Licht . . . 552
Ein Pupillenmesser . . . 552
Ein Monochromator für den Anfang des Ultrarots, das sichtbare Licht und das Ultraviolett . 552
Zur Einstellungsgenauigkeit des Babinet-Soleilschen Kompensators . . . 553
Butter- und Eintauchrefraktometer . . . 554
Einheits-Mikroskopstative . . . 554
Ein hochempfindliches Röhrengalvanometer mit Gleichstromrückkopplung . . . 554
Der neue Theodolit . . . 585
Wie kontrolliert man am einfachsten die Vergrößerung optischer Instrumente? . . . 586
Ein neuer Fernrohrtypus, der besonders für Spektrometer geeignet ist . . . 587
Große oder kleine Prismengläser? . . . 588
Binokulare Lupen für Präzisions- und Kontrollarbeiten. — Die binokularen Lupen als Werkstattgerät . . . 588
Erschütterungsfreie Aufstellung für Metallmikroskope . . . 589
Ein neues Vibrationsgalvanometer . . . 589

Bücherbesprechungen.

Ergebnisse der exakten Naturwissenschaften . . . 53
W. Hinrichs, Einführung in die geometrische Optik . . . 53
A. Kühl, Der Sternhimmel . . . 163
A. Egerer, Wie fertigt man eine Kartenskizze (Kroki)? . . . 164
Das Zirkumzenital von Nušl und Frič . . . 210
Topographische Abteilung der Bayr. Topogr. Büros, München . . . 210
A. Berliner, Lehrbuch der Physik in elementarer Darstellung . . . 211
Lotte Moeller, Die Deviation bei Strommessungen im Meere . . . 212
R. Lenz, Die Rechenmaschinen und das Maschinenrechnen . . . 212
W. Bowie, *Geodetic Operations in the U. S. and outlying possessions* . . . 260
A. Brückner, Grundzüge der Brillenlehre für Augenärzte . . . 261

Seite
A. Siegrist, Refraktion und Akkommodation des menschlichen Auges 262
Internationales Archiv für Photogrammetrie 311
W. Heiskanen, Untersuchungen über Schwerkraft und Isostasie 362
M. Robitzsch, Beobachtungsmethoden des modernen Meteorologen 363
K. Schoy, Die Gnomonik der Araber 405
R. T. Gunther, *Early Science in Oxford* 408
O. S. Chwolson, Lehrbuch der Physik IV. Bd. I. Abt. 408
F. L. Hunt, *Aeronautic instruments* 462
E. L. Stevenson, *Terrestrial and celestial Globes* 463
Procès-verbal de la 70me Séance de la Commission géodésique suisse 464
E. Lester Jones, *Annual Report U. S. Coast and Geodetic Survey 1924* 506
J. Drecker, Die Theorie der Sonnenuhren 508
L. A. Ott, Theorie und Konstantenbestimmung des hydrometrischen Flügels 512
L. C. Martin, Optische Meßinstrumente 555
Die Kultur der Gegenwart, ihre Entwicklung und ihre Ziele 557
Felix Auerbach, Das Zeisswerk und die Carl Zeiss-Stiftung in Jena 557
A. Neuburger, Echt oder Fälschung? 558
F. Rapatz, Die Edelstähle 558
Bulletin of the Institute of Practical Geophysics of the Supreme Council of Public Economy . . 590
G. Berndt, Die Gewinde, ihre Entwicklung, ihre Messung und ihre Toleranzen 590
L. W. Pollak, Rechentafeln zur harmonischen Analyse 591
F. M. Feldhaus, Tage der Technik 592
W. Kossel, Valenzkräfte und Röntgenspektren 592

Zum Aufsatz von W. Schermerhorn 54
Entgegnung auf die vorstehende Zuschrift 55
Gebührenordnung der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt, Abteilung I für Maß- und Gewicht 55
Preisausschreiben der Deutschen Reichsbahn-Gesellschaft 103
Nachtrag 164
Zuschriften 262, 263, 363, 364, 559, 560
Hugo Krüss † 264
Namen- und Sachregister 593
Fehlerberichtigung 599
Verzeichnis der Referenten des Jahrgangs 1925 600

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Kuratorium:
Prof. Dr. D. h. c. **H. Krüss**, Vorsitzender, Prof. Dr. **R. Straubel**,
Prof. Dr. **F. Weidert**, geschäftsführendes Mitglied.

Schriftleitung: Oberregierungsrat Prof. Dr. **F. Göpel** in Charlottenburg-Berlin.

XLV. Jahrgang. **Januar 1925.** Erstes Heft.

Zur beugungstheoretischen Untersuchung optischer Systeme.

Von
Dr. **Rob. Richter**, wissenschaftlichem Mitarbeiter der Optischen Anstalt C. P. Goerz A.-G. in Berlin-Friedenau.

Ein punktförmiges leuchtendes Objekt wird im besten Falle, wenn die Lichtstrahlen fehlerfrei vereinigt werden, als kleine Scheibe abgebildet, deren Helligkeitsmaximum in der Mitte liegt und die von konzentrischen Ringen mit geringerer Helligkeit umgeben ist. Ist die Vereinigung der Lichtstrahlen fehlerhaft, so wird die Helligkeit in der Scheibenmitte dadurch verkleinert und geht auf die Umgebung über, da die gesamte Lichtmenge erhalten bleibt. Der Zusammenhang zwischen der Abnahme der Lichtintensität in der Mitte der Scheibe und der Verteilung der Lichtmenge auf die Umgebung ist zwar nicht eindeutig, da die Lichtmenge bei gleicher Intensität in der Scheibenmitte in verschiedener Weise auf die Umgebung verteilt sein kann; es ist aber trotzdem möglich, die Lichtintensität in der Mitte der Scheibe bis zu einem gewissen Grade zum Maßstab der Güte der optischen Abbildung zu machen, wie es zuweilen K. Strehl[1]) getan hat, dessen Vorgehen ich folge, obwohl das vollständige und endgültige Kriterium für die Güte der Abbildung nur auf der Kenntnis der ganzen Beugungsfigur beruhen kann.

In den folgenden Abschnitten wird die Wirkung der sphärischen Aberration auf die Abbildung von Objekten, die auf der optischen Achse des optischen Systems liegen, untersucht; insbesondere werden Regeln für die beste Einstellung und für die beste Korrektion aufgestellt.

1. Der Zusammenhang zwischen der Aberration der Schnittweiten und der Aberration der Lichtwege.

Die Lichtstrahlen, die von einem auf der optischen Achse liegenden Objektpunkt herrühren, stehen normal auf einer zur optischen Achse symmetrischen Wellenfläche, nachdem sie das optische System durchlaufen haben, und schneiden die optische Achse in einem Punkte, dem Gaussischen Bildpunkt, solange die Öffnungswinkel u, die sie mit der optischen Achse bilden, sehr klein sind. Mit wachsendem Öffnungswinkel u ändert sich im allgemeinen die Lage der Schnittpunkte der Lichtstrahlen mit der optischen Achse, so daß jeder dieser Strahlen eine andere Schnittweite hat. Die Entfernung der Schnittpunkte vom Gaussischen Bildpunkt heißt die Aberration der Schnittweiten; sie ist eine Funktion des Öffnungswinkels u und soll mit s bezeichnet werden.

[1]) K. Strehl, Luftschlieren und Zonenfehler. *Diese Zeitschr.* **22.** S. 213. 1902, und spätere Arbeiten.

Ist der Verlauf des Lichtstrahlenbündels durch die Funktion s von u gegeben, so ist auch die Form der Wellenfläche, auf der die Lichtstrahlen senkrecht stehen, bestimmt; ebenso die Lichtwege, die von jedem Punkt der Wellenfläche zum Aufpunkt führen, das ist der Punkt, in dem die Lichtintensität berechnet werden soll.

Der Lichtweg vom Scheitelpunkt der Wellenfläche bis zum Gaussischen Bildpunkt sei R (siehe Fig. 1), der Abstand des Aufpunkts vom Gaussischen Bildpunkt sei x, so daß der Lichtweg vom Scheitelpunkt der Wellenfläche bis zum Aufpunkt gleich $R+x$ ist. Die Lichtwege von den übrigen Punkten der Wellenfläche bis zum Aufpunkt sind gleich $R+x+l$, wenn l die Aberration der Lichtwege ist. Ferner sei φ der Neigungswinkel, den der Lichtweg zum Aufpunkt mit der optischen Achse bildet.

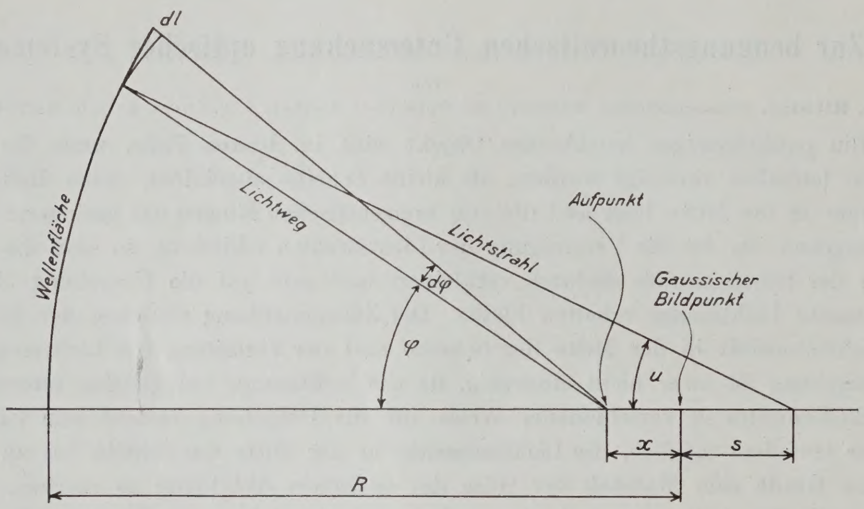


Fig. 1.

Die Beziehungen, die nötig sind, um die Lichtwegaberration l als Funktion von φ anzugeben, lassen sich aus Fig. 1 ablesen, es ist

$$\frac{dl}{(R+x+l)\,d\varphi} = \operatorname{tg}(\varphi - u) \tag{1}$$

und

$$\sin(\varphi - u) : \sin u = (s - x) : (R + x + l)\,. \tag{2}$$

Diese beiden Gleichungen gestatten es, l als Funktion von φ auszudrücken, wenn s als Funktion von u gegeben ist. R erscheint in den Gleichungen als Parameter der Wellenflächenschar, die zu dem gegebenen Lichtstrahlenbündel gehört, so daß durch die Wahl von R eine bestimmte Wellenfläche aus der Schar herausgegriffen wird. Die Wahl von R hat nur geringe physikalische Bedeutung, da sie lediglich die Verteilung der Lichtintensität auf der Wellenfläche selbst etwas beeinflußt; es ist daher am besten, R mit Rücksicht auf die Vereinfachung der mathematischen Beziehungen zu wählen, und die Wellenfläche in eine unendliche Ferne zu legen; dann wird $R = \infty$, und die Gleichungen 1) und 2) nehmen die einfache Form

$$\varphi = u \tag{3}$$

und

$$\frac{dl}{d\varphi} = (s - x)\sin\varphi \tag{4}$$

an. Die Bezeichnung φ wird fallengelassen und die in der geometrischen Optik gebräuchliche Bezeichnung u allein weiterbenutzt, so daß man schließlich in

$$l = \int_0^u (s - x) \sin u \, du \tag{5}$$

den gesuchten Ausdruck für die Lichtwegaberration als Funktion des Öffnungswinkels erhält.

Die Schnittweitenaberration s wird gewöhnlich als Reihe von Potenzen von u oder $\sin u$ dargestellt. Diese Darstellung hat aber den Nachteil, daß sie zu einer andersgearteten Darstellung der Lichtwegaberration l führt, wenn man Gleichung 5) integriert; es sei denn, daß man sich mit einer Annäherung begnügt. Der Verzicht auf einen mathematisch exakten Übergang von der Schnittweitenaberration zur Lichtwegaberration erscheint jedoch mit Rücksicht auf die exakte analytische Lösung einiger später zu behandelnder Probleme nicht angebracht, so daß ich die Reihen nach

$$1 - \cos u = p \tag{6}$$

entwickeln will. Wegen

$$\sin u \, du = dp \tag{7}$$

wird dann

$$l = \int_0^p (s - x) \, dp\,, \tag{8}$$

so daß auch l eine Potenzreihe von p wird, wenn s als Potenzreihe von p gegeben ist.

Das Argument p hat außerdem andere Vorteile; p ist der Pfeilhöhe des Meridianbogens der Wellenfläche proportional, während $\sin u$ der Sehne proportional ist; daher ist die Entwicklung der Lichtwegaberration nach p bis zu beliebig großen Öffnungen der Wellenfläche brauchbar, während die Entwicklung nach $\sin u$ versagt, sobald der Öffnungswinkel sich 90^0 nähert. Ferner ist p dem Inhalt der Wellenfläche proportional und bildet deshalb die gegebene Integrationsvariable für die Auswertung der Integrale des Huygens-Fresnelschen Prinzips der Elementarwellen. Ich nenne daher p die „relative Fläche" der Welle und werde sie während dieser ganzen Untersuchung bei der Darstellung der Funktionen als unabhängige Variable benutzen.

Die Schnittweitenaberration s erscheint zwar als Funktion der relativen Fläche p ungewöhnlich; trotzdem ist auch diese Darstellung besser als die gewöhnliche, bei der die Einfallshöhen das Argument sind. Man erinnere sich an die graphische Wiedergabe der nach der Hartmannschen Methode[1]) bestimmten Schnittweitenaberrationen, bei der bekanntlich die Aberrationen, die zu kleinen Einfallshöhen gehören, ausfallen, so daß die Aberrationskurve an dieser Stelle eine längere Unterbrechung hat. Diese Unterbrechung erweckt irrtümlicherweise den Anschein, als wenn die Hartmannsche Methode in der Mitte des Objektivs versagte, während die Unterbrechung der Aberrationskurve tatsächlich belanglos ist; denn sie ist sehr klein, sobald die relative Fläche, die allein für die Lichtwirkung maßgebend ist, an Stelle der Einfallshöhe zur Abszisse gemacht wird.

Ich benutze daher immer die Reihe

$$s = a p + b p^2 + c p^3 \tag{9}$$

zur Darstellung der Schnittweitenaberration, aus der die Reihe

$$l = - x p + \tfrac{1}{2} a p^2 + \tfrac{1}{3} b p^3 + \tfrac{1}{4} c p^4 \tag{10}$$

---

[1]) J. Hartmann, Objektivuntersuchungen. *Diese Zeitschr.* **24**. *S. 1, 33, 87. 1904.*

für die Lichtwegaberration mit Hilfe von Gleichung 8) exakt folgt. Zuweilen wird eine Integrationskonstante hinzugefügt, und

$$l = v - x p + \tfrac{1}{2} a p^2 + \tfrac{1}{3} b p^3 + \tfrac{1}{4} c p^4 \qquad 11)$$

geschrieben. Die Konstante v hat keine Wirkung auf die Lichtintensität im Aufpunkt, da sie nur eine Verschiebung der Phase des Lichtes um $\frac{2\pi v}{R}$ bewirkt, sie hat dagegen zuweilen rechnerische Vorzüge.

2. Die Definitionshelligkeit.

Das Verhältnis zwischen der Lichtintensität in der Mitte des Beugungsscheibchens und der Lichtintensität im Krümmungsmittelpunkt einer im übrigen gleichartigen Kugelwelle wird nach K. Strehl[1]) die Definitionshelligkeit genannt und kann, wie schon einleitend gesagt, bis zu einem gewissen Grade zum Maßstab der Güte der optischen Abbildung gemacht werden. Die Definitionshelligkeit läßt sich aus dem Huygens-Fresnelschen Prinzip der Elementarwellen[2]) berechnen und ist

$$J = \left\{ \left[\int_0^{p_1} A \cos \frac{2\pi l}{\lambda} dp \right]^2 + \left[\int_0^{p_1} A \sin \frac{2\pi l}{\lambda} dp \right]^2 \right\} : \left[\int_0^{p_1} A\, dp \right]^2, \qquad 12)$$

wo A die Amplitude der Lichterregung auf der Wellenfläche, λ die Wellenlänge des Lichtes, l die Lichtwegaberration, p die relative Fläche der Welle, und p_1 ihren größten Wert bedeuten.

Ist die Wellenfläche gleichförmig mit Intensität bedeckt, und wird die Amplitude im Scheitelpunkt der Wellenfläche zur Einheit gemacht, so wird $A = 1$, und die Definitionshelligkeit wird

$$J = \frac{1}{p_1^2} \left\{ \left[\int_0^{p_1} \cos \frac{2\pi l}{\lambda} dp \right]^2 + \left[\int_0^{p_1} \sin \frac{2\pi l}{\lambda} dp \right]^2 \right\}. \qquad 13)$$

Es ist die Frage, ob dieser Fall eine physikalische Bedeutung hat; behält man jedoch die öfter gemachte Fiktion eines nach allen Seiten gleichförmig strahlenden Lichtpunktes bei, so tritt der Fall $A = 1$ ein, sobald ein solcher leuchtender Punkt mit einem Konvergenzverhältnis ± 1 abgebildet wird.

Wird ein leuchtender Objektpunkt mit unendlich großem Konvergenzverhältnis abgebildet, so nimmt die Lichtintensität auf der Wellenfläche mit $\cos u$ ab, und die Amplitude mit $\sqrt{\cos u}$, sie wird daher $A = \sqrt{1 - p}$. Den gleichen Ausdruck erhält man auch dann, wenn man von einem leuchtenden Punkte absieht, und die Grundsätze der Photometrie leuchtender Flächen anwendet; im letzten Fall spielt das Konvergenzverhältnis der Abbildung keine Rolle mehr.

Die genannten Fälle unterscheiden sich jedoch zumeist so wenig voneinander, daß ich in der Regel $A = 1$ setzen werde; denn $\sqrt{1 - p}$ weicht bis zu einer relativen Fläche $p = 0{,}02$, die einem Öffnungsverhältnis von $1 : 2{,}51$ entspricht, nur um 0,01 von 1 ab. Aber auch darüber hinaus scheint der Unterschied der Amplituden auf der Wellenfläche sich wenig in der Wirkung auf den Aufpunkt zu äußern, wie am Beispiel der Kugelwelle mit der relativen Fläche $p = 1$ gezeigt werden wird.

---

[1]) K. Strehl, l. c.

[2]) W. Voigt, Kompendium der theoretischen Physik. *2. S. 776. 1896.*

3. Die Kugelwelle.

Ist die Wellenfläche eine Kugel, so wird die Schnittweitenaberration

$$s = 0 \tag{14}$$

und die Lichtwegaberration

$$l = -x\,p\,. \tag{15}$$

Ist ferner die Amplitude der Lichterregung auf der Wellenfläche konstant $A = 1$, so läßt sich Gleichung 13) unbestimmt integrieren, und man erhält für die Definitionshelligkeit im Aufpunkt x den Wert

$$J = \frac{\lambda^2}{2\,\pi^2\,x^2\,p_1^2}\left(1 - \cos\frac{2\,\pi\,x\,p_1}{\lambda}\right), \tag{16}$$

der für eine beliebig große Öffnung gilt. In diesem Ausdruck treten die Größen x, p_1 und λ so miteinander verbunden auf, daß sie durch einen universellen Parameter

$$X = \frac{x\,p_1}{\lambda} \tag{17}$$

ersetzt werden können, so daß eine einzige Tabelle[1]), welche die zu verschiedenen X gehörenden Werte J enthält, für beliebige x, p_1 und λ gebraucht werden kann. Man schreibt daher besser

$$J = 2\,\frac{1 - \cos 2\,\pi\,X}{(2\,\pi\,X)^2}\,. \tag{18}$$

Dieser Ausdruck stimmt mit dem von K. Strehl für kleine Öffnungsverhältnisse und eine andere Energieverteilung auf der Wellenfläche berechneten Ausdruck überein, wenn man von Faktoren absieht. Die Definitionshelligkeit wird $J = 1$ für $X = 0$; mit wachsendem X fällt sie allmählich ab, erreicht bei $X \pm 0{,}4430$ den Halbwert $J = 0{,}5$, und bei $X = \pm 1$ den Minimalwert $J = 0$.

Rührt das Licht der Kugelwelle von einem leuchtenden Punkte her, der unendlich weit entfernt liegt, so ist die Amplitude auf der Wellenfläche $A = \sqrt{1 - p}$, wie schon oben bemerkt. Bei kleinen relativen Flächen, bis zu etwa $p = 0{,}02$, unterscheidet sich diese Amplitude nur wenig von der Amplitude im Scheitelpunkt der Wellenfläche, mit wachsendem p wird sie dagegen schließlich gleich Null. Dieser große Unterschied gegenüber dem vorhergehenden Falle hat jedoch nur eine geringe Wirkung auf das Resultat, nämlich auf die Definitionshelligkeit selbst. Ich habe die numerische Integration des Falles $A = \sqrt{1 - p}$ für die große relative Fläche $p_1 = 1$, die einer numerischen Apertur 1 entspricht, durchgeführt und fand, daß die Definitionshelligkeit bei $X = \pm 0{,}4935$ ihren Halbwert $J = 0{,}5$ erreicht. Der Unterschied gegenüber dem andern Falle $A = 1$ ist also verhältnismäßig gering, so daß die folgenden Untersuchungen mit einer Amplitude $A = 1$ gemacht werden sollen.

4. Die Aberration mit einem Koeffizienten.

Die Schnittweitenaberration ist

$$s = a\,p\,, \tag{19}$$

die entsprechende Lichtwegaberration ist

$$l = -x\,p + \tfrac{1}{2}\,a\,p^2\,. \tag{20}$$

Der Koeffizient a und die größte relative Fläche p_1 sind gegeben; die Lage des Auf-

---

[1]) Czapski-Eppenstein, Theorie der optischen Instrumente *S. 313. 1924.*

punktes x soll so gewählt werden, daß die Definitionshelligkeit J ein Maximum wird. Die durch x gehende Einstellebene kann dann als Ebene der besten Einstellung angesehen werden, wenn man die Definitionshelligkeit zum Maßstab der Güte der Abbildung macht.

Die Lage der besten Einstellebene läßt sich in einfacher Weise aus den symmetrischen Eigenschaften der Lichtwegaberrationen herleiten. Die Werte der Lichtwegaberration l werden zur Feststellung symmetrischer Eigenschaften einmal in der Richtung vom Scheitel bis zum Rande der Wellenfläche, das andere Mal umgekehrt in der Richtung vom Rande bis zum Scheitel durchlaufen und werden im letzten Falle mit l' bezeichnet. Es ist also

$$l' = -x(p_1 - p) + \tfrac{1}{2}a(p_1 - p)^2 . \tag{21}$$

Die Kurve der Lichtwegaberrationen wird symmetrisch zu einer durch den Punkt $p = \frac{1}{2}p_1$ parallel zur l-Achse laufenden Achse, die in Fig. 3 strichpunktiert eingezeichnet ist, wenn $l' - l = 0$ wird. Die Bedingung dafür ist

$$0 = (-x p_1 + \tfrac{1}{2}a p_1^2) + (2x - a p_1)p , \tag{22}$$

sie wird durch

$$x = \tfrac{1}{2}a p_1 \tag{23}$$

erfüllt.

Zur Erläuterung ist in Fig. 2 eine Aberrationskurve der Schnittweiten gezeichnet, die einer größten relativen Fläche $p_1 = 0{,}02$ und einem Wert des Koeffizienten $a = -10$ mm entspricht. Die größte Aberration am Rande p_1 ist $s_1 = -0{,}2$ mm; die gestrichelt gezeichnete Einstellebene geht durch den Aufpunkt $x = -0{,}1$ mm, bei dem die Kurve der Lichtwegaberrationen symmetrisch wird. Letztere ist in Fig. 3 gezeichnet Der Maßstab der Schnittweitenaberrationskurve ist 50 : 1, der Maßstab der Lichtwegaberrationskurve 50000 : 1; diese Maßstäbe werden auch in den später folgenden numerischen Beispielen anderer Fälle beibehalten werden.

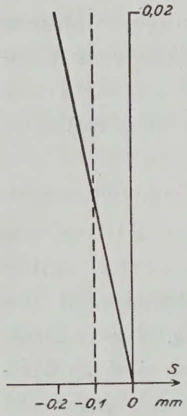


Fig. 2.

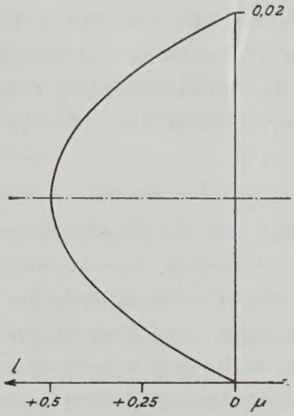


Fig. 3.

Geht man vom Aufpunkt $x = \frac{1}{2}a p_1$ zu einem benachbarten Aufpunkt über, der um das Stück ξ weiter entfernt liegt, so ändert sich dadurch die Lichtwegaberration, sie wird

$$l = -(\tfrac{1}{2}a p_1 + \xi)p + \tfrac{1}{2}a p^2 . \tag{24}$$

Verlegt man den Aufpunkt um den gleichen Betrag nach der anderen Seite hin, bezeichnet die dazu gehörende Lichtwegaberration mit l' und durchläuft die Aberrationskurve umgekehrt vom Rande bis zum Scheitel der Wellenfläche, so wird

$$l' = -(\tfrac{1}{2}a p_1 - \xi)(p_1 - p) + \tfrac{1}{2}a(p_1 - p)^2 . \tag{25}$$

Aus den beiden letzten Gleichungen 24) und 25) ergibt sich durch Subtraktion

$$l' - l = \xi p_1 , \tag{26}$$

das heißt, die beiden Aberrationskurven unterscheiden sich nur durch eine Phasenverschiebung und durch ihre Lage, sie liegen spiegelbildlich vertauscht, und ihre

Wirkungen auf die Definitionshelligkeit in den zugehörigen Aufpunkten sind einander gleich. Die Definitionshelligkeit ist also symmetrisch zum Aufpunkt $x = \frac{1}{2} a p_1$ auf der optischen Achse verteilt und im Symmetriepunkt selbst ein Maximum, da ein Minimum nicht in Betracht kommt. Dieses Resultat hat schon K. Strehl[1]) auf anderem Wege gefunden.

Der Beweis läßt sich auch analytisch mit Hilfe von Gleichung 13) führen. Die Bedingung dafür, daß J ein Maximum wird, ist

$$\frac{\partial J}{\partial x} = \frac{4\pi}{\lambda p_1^2} \left\{ \int_0^{p_1} \cos \frac{2\pi l}{\lambda} dp \int_0^{p_1} p \sin \frac{2\pi l}{\lambda} dp - \int_0^{p_1} \sin \frac{2\pi l}{\lambda} dp \int_0^{p_1} p \cos \frac{2\pi l}{l} dp \right\} = 0 . \qquad 27)$$

Ist $x = \frac{1}{2} a p_1$, also $l' - l = 0$, so wird wegen der Symmetrie der Lichtwegaberrationskurve

$$\int_0^{p_1} (p - \tfrac{1}{2} p_1) \cos \frac{2\pi l}{\lambda} dp = 0 \qquad 28)$$

und ebenso

$$\int_0^{p_1} (p - \tfrac{1}{2} p_1) \sin \frac{2\pi l}{\lambda} dp = 0, \qquad 29)$$

oder anders geschrieben

$$\int_0^{p_1} p \cos \frac{2\pi l}{\lambda} dp = \tfrac{1}{2} p_1 \int_0^{p_1} \cos \frac{2\pi l}{\lambda} dp \qquad 30)$$

und

$$\int_0^{p_1} p \sin \frac{2\pi l}{\lambda} dp = \tfrac{1}{2} p_1 \int_0^{p_1} \sin \frac{2\pi l}{\lambda} dp . \qquad 31)$$

Werden die Gleichungen 30) und 31) in 27) eingesetzt, so wird identisch $\frac{\partial J}{\partial x} = 0$, die Bedingung für das Eintreten eines Maximums ist also erfüllt, und die beste Einstellebene geht folglich durch den Punkt $x = \frac{1}{2} a p_1$.

Die Definitionshelligkeit in diesem Punkt läßt sich analytisch, außer durch den Integralausdruck in Gleichung 13), nicht exakt darstellen, kann aber von Fall zu Fall numerisch leicht ausgewertet werden. K. Strehl[2]) hat dabei die Anwendung Besselscher Funktionen bevorzugt, während ich ausschließlich die numerische Integration nach der Simpsonschen Regel anwende. Für das in diesem Abschnitt angeführte und in Fig. 2 und 3 dargestellte numerische Beispiel ergibt sich so eine Definitionshelligkeit

$$J = 0{,}089 \qquad 32)$$

für eine Wellenlänge $\lambda = 0{,}5\, \mu$.

Diese Definitionshelligkeit ist sehr gering, woraus man ersieht, daß schon eine geringe sphärische Aberration die Abbildung sehr verschlechtert; lediglich falsche Ein-

---

[1]) K. Strehl, Theorie des Fernrohrs. *S. 64. 1894.*

[2]) K. Strehl, Theorie des Fernrohrs 1894. Graphische Integration findet sich bei K. Strehl, Zonen und Leistung von Refraktoren. *Diese Zeitschr. **24**. S. 323. 1904.*

stellung vermag eine sonst gute Korrektion noch schneller unbrauchbar zu machen, während die in den nächsten Abschnitten behandelten Zonenfehler bei im übrigen richtiger Korrektion und Einstellung nicht so gefährlich zu sein scheinen.

5. Die Aberration mit zwei Koeffizienten.

Die Schnittweitenaberration ist

$$s = a\,p + b\,p^2 \tag{33}$$

und die entsprechende Lichtwegaberration

$$l = v - x\,p + \tfrac{1}{2}a\,p^2 + \tfrac{1}{3}b\,p^3. \tag{34}$$

Die beste Einstellebene läßt sich nicht analytisch ermitteln, wie es im vorhergehenden Abschnitt geschehen ist, sondern sie muß von Fall zu Fall durch numerische Integration angenähert festgestellt werden. Dagegen läßt sich über die beste Korrektion unter einer bestimmten Voraussetzung etwas aussagen. Ich setze voraus, wie es auch C. F. Gauss[1]) getan hat, daß sich der Koeffizient b bei einer Änderung des Koeffizienten a nur so wenig ändert, daß die Definitionshelligkeit dadurch nicht merklich beeinflußt wird, und verstehe also unter einer Korrektionsänderung nur die Änderung des Koeffizienten a.

Bei der Ermittlung der Korrektion stützt man sich wieder auf die symmetrischen Eigenschaften der Lichtwegaberrationskurve. Wird die Kurve in umgekehrter Richtung durchlaufen, und werden die Werte der Aberration dabei wieder mit l' bezeichnet, so ist

$$l' = v - x(p_1 - p) + \tfrac{1}{2}a(p_1 - p)^2 + \tfrac{1}{3}b(p_1 - p)^3. \tag{35}$$

Soll $l' + l = 0$ werden, so erhält man die Bedingung dafür durch Addition der Gleichungen 34) und 35), nämlich

$$0 = (2\,v - x\,p_1 + \tfrac{1}{2}a\,p_1^2 + \tfrac{1}{3}b\,p_1^3) - (a\,p_1 + b\,p_1^2)\,p + (a + b\,p_1)\,p^2. \tag{36}$$

Diese Bedingung wird erfüllt, wenn die drei geklammerten Koeffizienten der letzten Gleichung einzeln verschwinden, was sich durch Erfüllung der beiden Gleichungen

$$a = -b\,p_1 \tag{37}$$

und

$$v = \tfrac{1}{2}x\,p_1 + \tfrac{1}{12}b\,p_1^3 \tag{38}$$

erreichen läßt. Durch Gleichung 37) ist die Korrektion schon festgelegt, wenn b und p_1 gegeben sind; die Einstellebene dagegen kann willkürlich gewählt werden, da die Symmetrie $l' + l = 0$ durch die Wahl der Verschiebung v erzielt werden kann. Diese Symmetrie ist von anderer Art, als die im vorhergehenden Abschnitt; die Kurve der Lichtwegaberration verläuft nämlich symmetrisch zu dem Punkte $p = \frac{1}{2}p_1$, wie es in Fig. 5 und 7 gezeichnet ist.

Geht man von der Korrektion $a = -b\,p_1$ zu einer benachbarten Korrektion $-b\,p_1 + \alpha$ über, so wird die Lichtwegaberration

$$l' = v - x\,p + \tfrac{1}{2}(-b\,p_1 + \alpha)\,p^2 + \tfrac{1}{3}b\,p^3. \tag{39}$$

Wird die Korrektion um den gleichen Betrag im entgegengesetzten Sinne geändert, während der Aufpunkt nach x' verlegt und die Verschiebung v' wird, so wird die Lichtwegaberration

$$l' = v' - x'(p_1 - p) + \tfrac{1}{2}(-b\,p_1 - \alpha)(p_1 - p)^2 + \tfrac{1}{3}b\,(p_1 - p)^3, \tag{40}$$

---

[1]) Siehe C. Lihotzky, Über den Einfluß der sphärischen Aberration auf die Lokalisierung von Bildpunkten. *Centralz. f. Opt. u. Mech.* **45**. *S. 208. 1924.*

wenn die Kurve in der Richtung vom Rande bis zum Scheitel der Wellenfläche durchlaufen wird.

Aus den Gleichungen 39) und 40) ergibt sich durch Addition

$$l' + l = (v' + v - x' p_1 - \tfrac{1}{6} b p_1^3 - \tfrac{1}{2} \alpha p_1) + (x' - x + \alpha p_1) p. \qquad 41)$$

Wird $x' = x - \alpha p_1$ gesetzt, so werden die beiden Lichtwegaberrationen l' und l, wie sich aus Gleichung 41) ergibt, bis auf eine physikalisch belanglose Phasenverschiebung, einander entgegengesetzt gleich, sie unterscheiden sich also nicht mehr voneinander in ihrer Wirkung auf die Definitionshelligkeit J in den Aufpunkten x' bzw. x.

Nimmt man ferner an, daß x die Ebene der besten Einstellung ist, obwohl sie unbekannt bleibt, so ist auch x' die beste Einstellung der anderen Korrektion; die Korrektionen $-b p_1 + \alpha$ und $-b p_1 - \alpha$ haben also bei bester Einstellung die gleiche Definitionshelligkeit, und die Korrektion $a = -b p_1$ ist folglich die beste Korrektion da sie die schlechteste nicht sein kann.

Das Resultat läßt sich wiederum auch analytisch mittels Gleichung 13) herleiten. Die Bedingung dafür, daß J durch die Wahl von x und a ein Maximum wird, ist die Gleichung 27) und die Gleichung

$$\frac{\partial J}{\partial a} = \frac{-2\pi}{\lambda p_1^2} \left\{ \int_0^{p_1} \cos \frac{2\pi l}{\lambda} dp \int_0^{p_1} p^2 \sin \frac{2\pi l}{\lambda} dp - \int_0^{p_1} \sin \frac{2\pi l}{\lambda} dp \int_0^{p_1} p^2 \cos \frac{2\pi l}{\lambda} dp \right\} = 0. \qquad 42)$$

Sind die Gleichungen 37) und 38), durch welche die Kurve der Lichtwegaberrationen symmetrisch wird, erfüllt, so ist wegen dieser Symmetrie der Kurve

$$\int_0^{p_1} \sin \frac{2\pi l}{\lambda} dp = 0. \qquad 43)$$

Außerdem ist

$$\int_0^{p_1} (p - \tfrac{1}{2} p_1)^2 \sin \frac{2\pi l}{\lambda} dp = 0, \qquad 44)$$

oder nach einer Umformung mit Hilfe der Gleichung 43):

$$\int_0^{p_1} p^2 \sin \frac{2\pi l}{\lambda} dp = p_1 \int_0^{p_1} p \sin \frac{2\pi l}{\lambda} dp. \qquad 45)$$

Über x kann trotz Gleichung 38) frei verfügt werden, ohne daß die Aberrationskurve dadurch unsymmetrisch wird; denn Gleichung 38) enthält die weitere Variable v. Wird x so gewählt, daß

$$\int_0^{p_1} p \sin \frac{2 x l}{\lambda} dp = 0 \qquad 46)$$

wird, so wird damit auch zufolge Gleichung 45)

$$\int_0^{p_1} p^2 \sin \frac{2 x l}{\lambda} dp = 0, \qquad 47)$$

und nach Einsetzen der Gleichungen 43), 46) und 47) in die beiden Bedingungsgleichungen 27) und 42) verschwinden diese, es wird sowohl $\frac{\partial J}{\partial x} = 0$ wie $\frac{\partial J}{\partial a} = 0$,

und folglich ist $a = -b\,p_1$ die beste Korrektion. Für die beste Einstellung x läßt sich dagegen kein expliziter Ausdruck geben, x ist lediglich durch die Gleichungen 37), 38) und 46) bestimmt.

Wird $a = -b\,p_1$, so hat dies ein Verschwinden der Schnittweitenaberration s_1 am Rande der Wellenfläche zur Folge, wie es in Fig. 4 dargestellt ist; das optische System muß also genau für die volle Öffnung korrigiert sein, wie man sich auszudrücken pflegt, während C. F. Gauß[1]) aus seiner geometrisch-optischen Überlegung bei im übrigen gleichen Voraussetzungen eine geringe Unterkorrektion des Randes als beste Korrektion erhielt.

Die nachfolgende Ermittlung der besten Einstellung ist durch das gewonnene Resultat wesentlich erleichtert, da sie nur für die beste Korrektion ermittelt werden braucht; die zweifach unendliche Mannigfaltigkeit der Fälle ist auf eine einfach unendliche reduziert worden, so daß es möglich ist, durch numerische Berechnung der Definitionshelligkeit in etwa drei verschiedenen Aufpunkten und durch nachfolgende Interpolation die beste Einstellebene angenähert zu finden, insbesondere, wenn man die Ableitung $\frac{\partial J}{\partial x}$ zu Hilfe nimmt, deren Berechnung als Nebenprodukt der Berechnung von J mit einem verhältnismäßig geringen Aufwand von Zeit herausspringt. Man benutzt dabei am besten die Form:

$$\frac{\partial J}{\partial x} = \frac{4\pi}{\lambda\,p_1^2}\int\limits_0^{p_1} \cos\frac{2\pi l}{\lambda}\,dp \int\limits_0^{p_1} (p - \tfrac{1}{2}p_1)\sin\frac{2\pi l}{\lambda}\,dp \qquad 48)$$

an Stelle von Gleichung 27), um symmetrisch verlaufende Funktionen unter beiden Integralzeichen zu haben.

In den bisher gefundenen Gesetzmäßigkeiten hat die Wellenlänge des Lichts keine Rolle gespielt; weder in der Aussage über die beste Einstellung bei einem Koeffizienten im vorhergehenden Abschnitt, noch in der Aussage über die beste Korrektion bei zwei Koeffizienten in diesem Abschnitt kommt die Wellenlänge des Lichts vor; ebenso wie sie keinen Einfluß auf die Lichtwegaberration hat, wenn die Schnittweitenaberration gegeben ist. Offenbar beruhte die Einfachheit der Beweisführung auf dieser Unabhängigkeit von der Wellenlänge, während die explizite analytische Ermittlung der besten Einstellung bei zwei Koeffizienten durch ihre Abhängigkeit von der Wellenlänge unmöglich gemacht wird, da die Integrale der Definitionshelligkeit nicht zu umgehen sind, während sie vordem nur zur Bestätigung der geometrischen Beweise herangezogen wurden. In dieser Erkenntnis liegt jedoch zugleich eine Möglichkeit, die Lage der besten Einstellung durch die einfache Annahme, daß die Wellenlänge λ zwischen 0 und ∞ liegen muß, einzuengen; denn für diese beiden Grenzwerte der möglichen Wellenlängen werden die Ausdrücke unter den Integralzeichen einfach und lassen sich analytisch behandeln.

Den Fall, daß die Wellenlänge $\lambda = \infty$ ist, hat schon V. Väisälä[2]) in gewissem Sinne behandelt, als er annahm, daß die Aberrationen klein gegenüber der Wellenlänge des sichtbaren Lichtes sind, und die Gleichungen vereinfachte, indem er das Argument für den sinus setzte. Das Gleiche muß auch hier geschehen, wenn man

---

[1]) Siehe E. Lihotzky, l. c.

[2]) Y. Väisälä: Neue Methoden zur Untersuchung der Okjektive. *S. 106. 1922*; Referat in *dieser Zeitschr.* ***43***. *S. 198. 1924.*

die Aberrationen zwar beliebig groß sein läßt, aber die Wellenlänge noch wesentlich größer annimmt. Wird daher $\frac{2\pi l}{\lambda}$ an Stelle von $\sin\frac{2\pi l}{\lambda}$ gesetzt, so erhält man unter Berücksichtigung von Gleichung 43) aus Gleichung 27)

$$\int_0^{p_1} p\, l\, dp = 0 \qquad 49)$$

als Bedingung für die beste Einstellung. Die Integration und nachfolgende Elimination der Verschiebung v mit Hilfe von Gleichung 38) liefert schließlich die beste Einstellung

$$x_{\lambda=\infty} = -\tfrac{1}{5}\, b\, p_1^2. \qquad 50)$$

In Fig. 4 ist die Schnittweitenaberration s für eine größte relative Fläche der Welle $p_1 = 0{,}02$ und einen Koeffizienten $b = 2000$ mm dargestellt. Es ist dabei $a = -40$ mm gewählt, damit die Korrektion die beste wird. Ferner ist die für eine Wellenlänge $\lambda = \infty$ günstigste Einstellebene $x = -0{,}16$ mm gestrichelt eingezeichnet. Dazu gehört die Lichtwegaberration in Fig. 5.

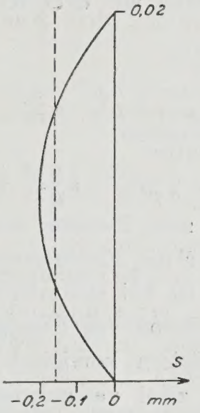


Fig. 4.

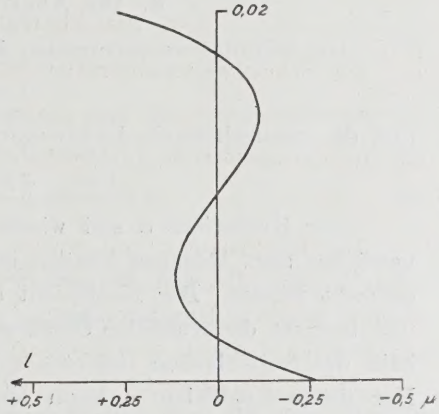


Fig. 5.

Wird die Wellenlänge gegen die Aberration verschwindend klein, so wird eine Lichtstrahlung nur von denjenigen Flächenelementen der Wellenfläche zur Wirkung gelangen, welche eine Kugelfläche um den Aufpunkt möglichst innig berühren, das heißt $\frac{d^2 l}{dp^2}$ muß außer $\frac{dl}{dp}$ verschwinden. Dies ist der Fall, wenn

$$x_{\lambda=\infty} = -\tfrac{1}{4}\, b\, p_1^2 \qquad 51)$$

wird.

In Fig. 6 und 7 ist der entsprechende numerische Fall dargestellt; die beste Einstellebene liegt bei $x = -0{,}2$ mm.

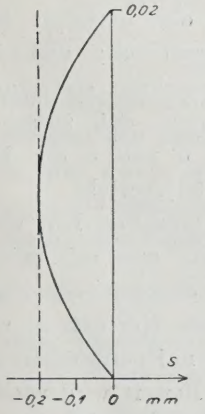


Fig. 6.

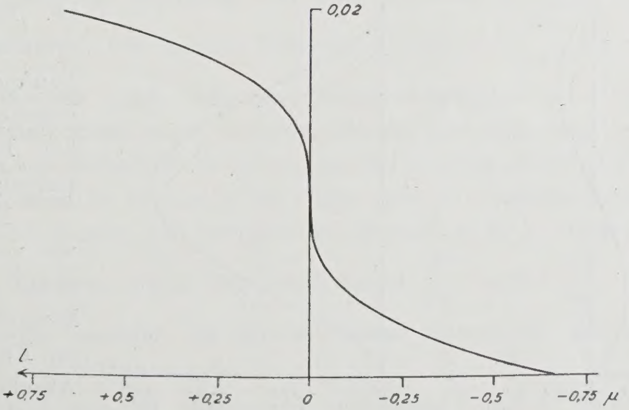


Fig. 7.

Zwischen $-\frac{1}{5} b p_1^2$ und $-\frac{1}{4} b p_1^2$ liegen also die besten Einstellebenen für alle endlichen Wellenlängen.

Ich habe die beste Einstellebene zu dem genannten numerischen Beispiel für eine Wellenlänge $\lambda = 0{,}5\ \mu$ durch einige numerische Integrationen ermittelt und fand sie durch Interpolation etwa bei

$$x = -0{,}182 \text{ mm} \qquad 52)$$

mit einer Definitionshelligkeit

$$J = 0{,}299\,. \qquad 53)$$

Die Definitionshelligkeit ist also wesentlich größer als im Falle der Aberration mit einem Koeffizienten, bei gleicher maximaler Schnittweitenaberration (siehe Gleichung 32).

6. Die Aberration mit drei Koeffizienten.

Die Schnittweitenaberration ist

$$s = a p + b p^2 + c p^3 \qquad 54)$$

und die dazugehörende Lichtwegaberration

$$l = -x p + \tfrac{1}{2} a p^2 + \tfrac{1}{3} b p^3 + \tfrac{1}{4} c p^4\,. \qquad 55)$$

Der Koeffizient a soll wieder zum Zwecke der nachträglichen Korrektion frei verfügbar sein. Dagegen können über die Koeffizienten b und c besondere Annahmen gemacht werden. Der Koeffizient b ist bei sammelnden Systemen gewöhnlich positiv und bewirkt dadurch eine Überkorrektion der Randstrahlen, wenn das System innerhalb des Seidelschen Gebietes sphärisch korrigiert ist, das heißt, wenn $a = 0$ ist. Der dritte Koeffizient c kann aus zwei verschiedenen Veranlassungen hinzutreten. Er kann entweder ebenfalls positiv sein und die Überkorrektion der Randstrahlen dadurch verschlimmern, oder er ist negativ und hebt die schlechte Wirkung von b zum Teil wieder auf. Den ersten Fall findet man häufig bei den älteren photographischen Anastigmaten, wo diese Korrektion unbeabsichtigt durch die starken Krümmungen der zerstreuenden Linsenelemente hervorgerufen ist. Der zweite Fall wird absichtlich herbeigeführt, um die Zonenfehler zu vermindern, und man kann daher annehmen, daß er rationell angewendet wird. Das ist offenbar dann der Fall, wenn die Kurve der Schnittweitenaberration die Ordinatenachse in $p = \frac{1}{2} p_1$ schneidet, sobald die Aberration am Rande $s_1 = 0$ gemacht ist. Dieser Fall tritt ein, wenn

$$b = -\tfrac{3}{2} c\, p_1 \qquad 56)$$

ist. In Fig. 8 ist eine derartige Aberrationskurve gezeichnet; und im Laufe dieser Untersuchung soll immer angenommen werden, daß zwischen den Koeffizienten b und c die Beziehung nach Gl. 56) besteht.

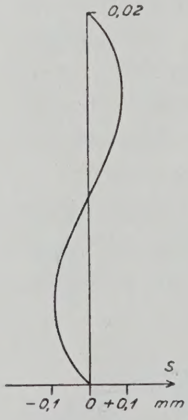


Fig. 8.

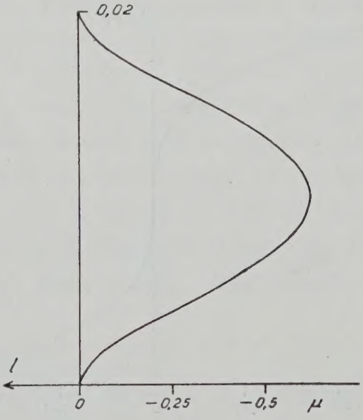


Fig. 9.

Die beste Korrektion läßt sich, wie vorweg bemerkt sein soll, nicht exakt ermitteln, dagegen die beste Einstellung für jede Korrektion, wie im Falle von einem Koeffizienten im Abschnitt 4. Der Beweis wird wieder auf Grund der Symmetrie der Licht-

wegaberrationskurve geführt. Wird die Kurve in umgekehrter Richtung vom Rande bis zum Scheitel der Wellenfläche durchlaufen und die Aberration wieder mit l' bezeichnet, so ist

$$l' = -x(p_1 - p) + \tfrac{1}{2}a(p_1 - p)^2 + \tfrac{1}{3}b(p_1 - p)^3 + \tfrac{1}{4}c(p_1 - p)^4. \qquad 57)$$

Durch Subtraktion der Gleichungen 55) und 57) voneinander und bei Berücksichtigung von Gleichung 56) findet man die Bedingung

$$0 = (-x p_1 + \tfrac{1}{2} a p_1^2 - \tfrac{1}{4} c p_1^4) + (2x - a p_1 + \tfrac{1}{2} c p_1^3) p \qquad 58)$$

dafür, daß die Lichtwegaberration symmetrisch zu einer durch $p = \tfrac{1}{2} p_1$ gehenden, der l-Achse parallelen Symmetrieachse verläuft. Derartige Aberrationskurven sind in Fig. 9, 11 und 13 gezeichnet.

Die Bedingung 58) wird durch

$$x = \tfrac{1}{2} a p_1 - \tfrac{1}{4} c p_1^3 \qquad 59)$$

erfüllt.

Wird der Aufpunkt von x nach $x \pm \xi$ verlegt, so sind die beiden dadurch entstehenden Lichtwegaberrationen

$$l = -(x + \xi) p + \tfrac{1}{2} a p^2 - \tfrac{1}{2} c p_1 p^3 + \tfrac{1}{4} c p^4 \qquad 60)$$

und

$$l' = -(x - \xi)(p_1 - p) + \tfrac{1}{2} a (p_1 - p)^2 - \tfrac{1}{2} c p_1 (p_1 - p)^3 + \tfrac{1}{4} c (p_1 - p)^4. \qquad 61)$$

Durch Subtraktion dieser beiden Gleichungen voneinander ergibt sich

$$l' - l = \xi p_1. \qquad 62)$$

Die beiden Aberrationskurven unterscheiden sich also nur um eine Phasenverschiebung und durch ihre spiegelbildlich vertauschte Lage; sie sind daher in ihrer Wirkung auf die Definitionshelligkeit in ihren Aufpunkten einander gleich. Die Definitionshelligkeit verläuft wie bei der Aberration mit einem Koeffizienten symmetrisch zu einem Aufpunkt x, der nach Gleichung 59) bestimmt ist; durch diesen Aufpunkt geht also die beste Einstellebene.

Die analytische Beweisführung geht wieder wie im Falle eines Koeffizienten von Gleichung 27) aus und stimmt wörtlich mit dem dort Gesagten überein, das heißt $\frac{\partial J}{\partial x}$ wird auch hier wegen $l' - l =$ konst. zu Null.

Daß die Definitionshelligkeit ein Maximum und kein Minimum wird, habe ich im Falle der Fig. 8 und 9 mit Hilfe des zweiten Differentialquotienten $\frac{\partial^2 J}{\partial x^2}$ für eine Wellenlänge $\lambda = 0{,}5\,\mu$ geprüft. Es ergab sich eine Definitionshelligkeit $J = 0{,}153$, während der zweite Differentialquotient negativ wurde. Ferner läßt sich zeigen, daß im Falle $\lambda = \infty$ das Maximum der Definitionshelligkeit, das bei x zufolge Gleichung 59) liegt, das einzige ist; dagegen muß es für $\lambda = 0$ im allgemeinen zwei weitere Maxima geben, deren Einstellebenen die Kurve der Schnittweitenaberration in je einem der Scheitelpunkte dieser Kurve berühren, denn hier verschwindet $\frac{d^2 l}{dp^2}$ außer $\frac{dl}{dp}$. Ich habe diese Maxima nicht weiter verfolgt, da sie bei bester Korrektion mit dem mittleren zusammen zu einem verschmelzen.

Die beste Korrektion läßt sich im allgemeinen nicht exakt finden. Ihre nu-

merische Berechnung in jedem einzelnen Falle ist aber durch die Kenntnis der besten Einstellebene erleichtert, insbesondere wenn der erste Differentialquotient

$$\frac{\partial J}{\partial a} = \frac{2\pi}{\lambda p_1^2}\left\{\int_0^{p_1} \cos\frac{2\pi l}{\lambda}\,dp \int_0^{p_1} (p_1 p - p^2)\sin\frac{2\pi l}{\lambda}\,dp - \int_0^{p_1} \sin\frac{2\pi l}{\lambda}\,dp \int_0^{p_1} (p_1 p - p^2)\cos\frac{2\pi l}{\lambda}\,dp\right\} \tag{63}$$

als Nebenrechnung mitbestimmt wird. Man benutzt denselben am besten in der Form:

$$\frac{\partial J}{\partial a} = \frac{2\pi}{\lambda p_1^2}\left\{\int_0^{p_1} \cos\frac{2\pi l}{\lambda}\,dp \int_0^{p_1} (p - \tfrac{1}{2}p_1)^2\sin\frac{2\pi l}{\lambda}\,dp - \int_0^{p_1} \sin\frac{2\pi l}{\lambda}\,dp \int_0^{p_1} (p - \tfrac{1}{2}p_1)^2\cos\frac{2\pi l}{\lambda}\,dp\right\}, \tag{64}$$

bei der unter den Integralzeichen nur symmetrisch verlaufende Funktionen auftreten

Bevor zur Berechnung der besten Korrektion geschritten wird, kann die Lage derselben in der gleichen Weise eingeengt werden, wie im vorhergehenden Abschnitt die Lage der besten Einstellebene, durch die Tatsache, daß λ zwischen 0 und ∞ liegen muß.

Wird $\lambda = \infty$, so kann $\frac{2\pi l}{\lambda}$ anstatt $\sin\frac{2\pi l}{\lambda}$ gesetzt werden. Gibt man ferner der Welle eine Verschiebung v, so daß

$$\int_0^{p_1} l\,dp = 0 \tag{65}$$

wird, so folgt aus Gleichung 63)

$$\int_0^{p_1} (p_1 p - p^2)\,l\,dp = 0 \tag{66}$$

als Bedingung für die beste Korrektion. Aus den Gleichungen 65) und 66) läßt sich die Verschiebung v wieder eliminieren, und man erhält schließlich für die beste Korrektion den Wert

$$a_{\lambda=\infty} = \tfrac{9}{14}\,c\,p_1^2. \tag{67}$$

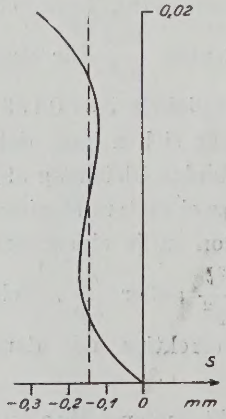


Fig. 10.

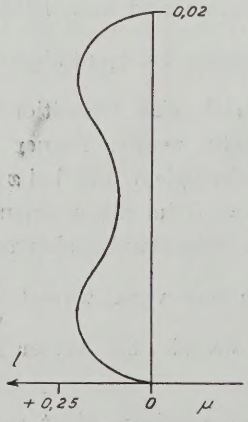


Fig. 11.

In Fig. 10 und 11 ist die Schnittweitenaberration und die Lichtwegaberration für eine größte relative Fläche $p_1 = 0{,}02$ und für einen Koeffizienten $c = -250000$ mm gezeichnet. Der Koeffizient b ist, wegen Gleichung 56), $b = +7500$ mm, und wegen der Gleichung 67) ist $a = -64{,}29$ mm, so daß die Korrektion für eine Wellenlänge $\lambda = \infty$ die beste ist.

Wird $\lambda = 0$, so ist die Korrektion so zu wählen, daß eine möglichst innige Berührung zwischen der Wellenfläche und einer Kugel um den Aufpunkt eintritt.

Es gelingt, $\frac{d^3 l}{dp^3}$, $\frac{d^2 l}{dp^2}$ und $\frac{dl}{dp}$ gleichzeitig zum Verschwinden zu bringen, und zwar für

$$a_{\lambda=0} = \tfrac{3}{4}\, c\, p_1^{\,2}. \qquad 68)$$

In Fig. 12 und 13 ist das dazugehörende numerische Beispiel gezeichnet; es ist $a = -75$ mm.

Die beste Korrektion für eine Wellenlänge $\lambda = 0{,}5\,\mu$ habe ich durch numerische Integration bestimmt und fand sie bei etwa

$$a = -64{,}5 \text{ mm} \qquad 69)$$

mit einer Definitionshelligkeit

$$J = 0{,}697. \qquad 70)$$

Sie liegt also sehr nahe bei dem Ergebnis $a = -64{,}29$ mm für $\lambda = \infty$, das in Fig. 10 und 11 gezeichnet ist.

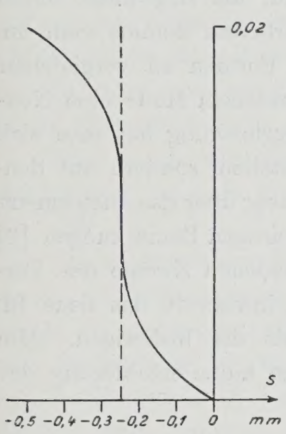


Fig. 12.

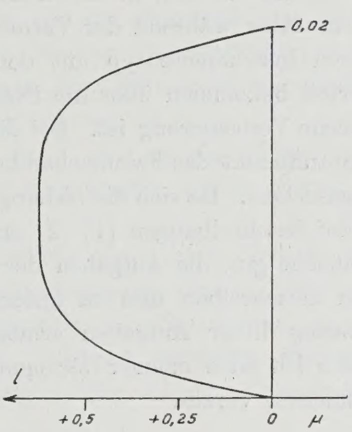


Fig. 13.

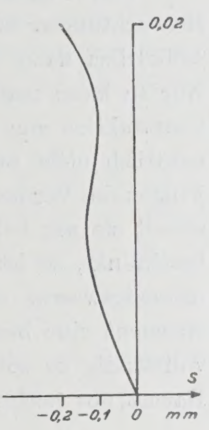


Fig. 14.

Da die Untersuchungen dieses Abschnitts und der vorhergehenden exakt waren bedürfen sie an und für sich keiner praktischen Bestätigung. Dieselbe ist jedoch wünschenswert, um die Brauchbarkeit des Prinzips der Definitionshelligkeit als Maßstab der Bildgüte zu erweisen. Ich habe daher in Fig. 14 die Schnittweitenaberration eines Mikroskopobjektivs mit der numerischen Apertur 0,85 und einer Brennweite von rd. 5 mm dargestellt, die deutlich den Charakter von Fig. 10 trägt. Das Mikroskopobjektiv war nach den bekannten Methoden zur Prüfung auf sphärische Aberration sorgfältig justiert worden, so daß kein Rest von Über- oder Unterkorrektion mehr nachweisbar war, und wurde danach trigonometrisch durchgerechnet, nachdem seine Konstanten festgestellt waren. Um es unmittelbar mit den übrigen Aberrationskurven vergleichen zu können, sind die Aberrationen für die Zeichnung durch Multiplikation mit $4{,}25^2$ vergrößert worden, dadurch sinkt die Apertur von 0,85 auf 0,2 und die relative Fläche auf den Wert 0,02, der bei den übrigen Figuren immer benutzt worden ist. Die merkwürdig starke Unterkorrektion des Randstrahls, des Mikroskopobjektivs, die geometrisch-optisch nicht recht verständlich erscheint, findet also durch die Anwendung des Prinzips der Definitionshelligkeit ihre Erklärung.

Vergleichung des neuen Zeiss-Theodolites mit heutigen Konstruktionen.

Von
Ingenieur **W. Schermerhorn** in Delft.

1. Einleitung.

Bei meinem Besuch in Jena i. J. 1923 hatte die Firma Carl Zeiss versprochen, einen der neuen Theodoliten zur Verfügung des Geodätischen Instituts der Technischen Hochschule in Delft stellen zu wollen zur Untersuchung der Kreisteilung und zur weiteren Beurteilung. Sehr dankbar haben wir das freundliche Angebot angenommen, und im Mai 1924 das Instrument Nr. 15897 erhalten. Im Laufe des Sommers sind damit Kreisteilungsuntersuchungen und Versuchsmessungen vorgenommen worden.

Ursprünglich hatte ich die Absicht, in einem Aufsatz nur die Ergebnisse dieser Beobachtungen mitzuteilen. Aber während der Vermessungsarbeiten kommt man unwillkürlich dazu, den neuen Instrumententyp mit den alten Formen zu vergleichen. Nur so kann man ein Urteil bekommen über die Frage, in welchem Maße eine Neukonstruktion eine wesentliche Verbesserung ist. Bei dieser Vergleichung hat man sich natürlich nicht auf den Standpunkt des Feinmechanikers zu stellen, sondern auf denjenigen des Vermessungspraktikers. Da sich die bisherige Literatur über das Instrument, soweit sie mir bekannt, auf Beschreibungen [1] [2] mit nur einigen Bemerkungen [3] beschränkt, so ist es vielleicht gut, die Aufgaben der verschiedenen Zweige des Vermessungswesens näher zu umschreiben und zu untersuchen, inwieweit das neue Instrument eine bessere Lösung dieser Aufgaben ermöglicht als die bisherigen. Um vollständig zu sein, schicke ich auch meinen Darlegungen eine kurze Schilderung der Bauart des neuen Instrumentes voraus.

2. Beschreibung des neuen Zeiss-Theodoliten.

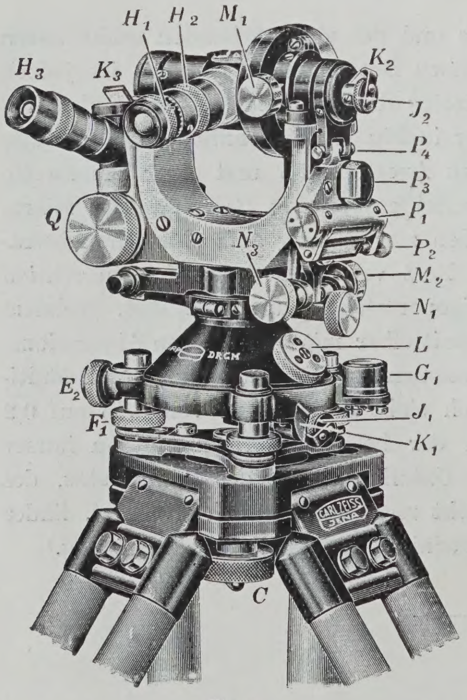


Fig. 1.

Fig. 1 gibt ein allgemeines Bild des Instrumentes und seiner Aufstellung.

Das Instrument setzt sich aus zwei Teilen zusammen. 1. Der untere Teil ist ein kräftiger Ring, mit welchem die drei Stellschrauben und eine federnde Grundplatte verbunden sind. Dieser Untersatz wird mittels der Schraubenstange C auf dem Stativkopf festgesetzt. Dann wird das Oberteil auf den Untersatz mittels einer Schraube E_2 festgeklemmt. In dem kegelförmigen Unterbau sind der Horizontalkreis mit Beleuchtungsvorrichtung und die Vertikalachse eingebaut. Letztere ist zylindrisch und läuft auf Kugeln. In dem Fernrohrbock ist die ganze Ablesevorrichtung eingebaut. Das Fernrohr hat ein Objektiv von 30 mm Öffnung, Innenfokussierung und eine 18-fache Gesamtvergrößerung. Zur Einstellung auf verschiedene Entfernungen wird die innere Fokussierlinse mittels einer ringförmigen Feinbewegung H_2 verschoben. Die Okulareinstellung H_1 wird

erleichtert durch eine Teilung und Bezifferung nach Dioptrien. Das Fernrohr wird in üblicher Weise unter Benutzung der Klemm- (M_1 und N_1) und Feinbewegungsschrauben (M_2) auf das Ziel eingestellt. Zu bemerken ist noch, daß eine Klemmschraube M_1 sich an jeder Seite der Kippachse befindet, was für die Handhabung in zwei Fernrohrlagen bequem ist.

Über die Justierung des Fernrohres schreibt Zeiss: „Da das Fernrohr durchschlagbar ist, können Ziel- und Kippachsenfehler durch Messung in beiden Fernrohrlagen kompensiert werden. Die in der Fabrik hergestellte Justierung genügt daher Eine Justiermöglichkeit der Strichplatte durch den Beobachter ist nicht vorgesehen. Die Kippachse ist nicht justierbar.“

An Libellen hat das Instrument eine Dosenlibelle G_1 am Dreifuß, mittels welcher man diesen Untersatz horizontiert, bevor man den Oberteil daraufsetzt. Weiter sind vorhanden eine Röhrenlibelle am Fernrohrträger zum genauen Lotrechtstellen der Vertikalachse, sowie auf der Alhidade des Höhenkreises eine Röhrenlibelle, welche mittels einer Feinbewegung eingestellt wird in einer Prismenvorrichtung, wie sie schon von den Zeissschen Nivillierinstrumenten bekannt ist. Der Winkelwert dieser Höhenkreislibelle ist rund 30″ pro P. L.

Die wesentliche Neuerung findet man an der Ablesevorrichtung, weshalb diese hier eingehender erklärt werden soll.

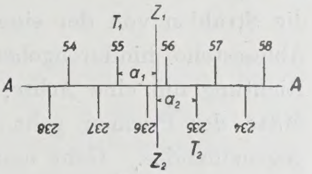


Fig. 2.

Jede Ablesevorrichtung besteht aus einem Zeigerstrich, an welchem man den vorhergehenden ganzen Teilstrich abliest, indem man gleichzeitig die Entfernung a vom Zeigerstrich bis zu diesem Teilstrich abschätzt oder mißt. Da mit Rücksicht auf die Exzentrizität mehrere, regelmäßig auf den Kreisumfang verteilte Zeiger vorhanden sind, nimmt man das arithmetische Mittel der einzelnen Ablesungen. Die Neuerung besteht nun darin, daß für zwei Zeiger diese Mittelbildung automatisch in einer einzelnen Ablesung stattfindet. Dazu bringt man mittels Prismen die Bilder der beiden Ablesestellen bei Z_1 und Z_2 so aufeinander, daß die beiden Zeigerstriche Z_1 und Z_2 zusammenfallen und die Teilungen in entgegengesetzter Richtung laufen. In Fig. 2 sieht man, daß für die Mittelbildung nur die Entfernung der Teilstriche T_1 und T_2 zu bestimmen und zu halbieren ist, und daß die eigentlichen Zeiger gar keine Rolle mehr spielen.

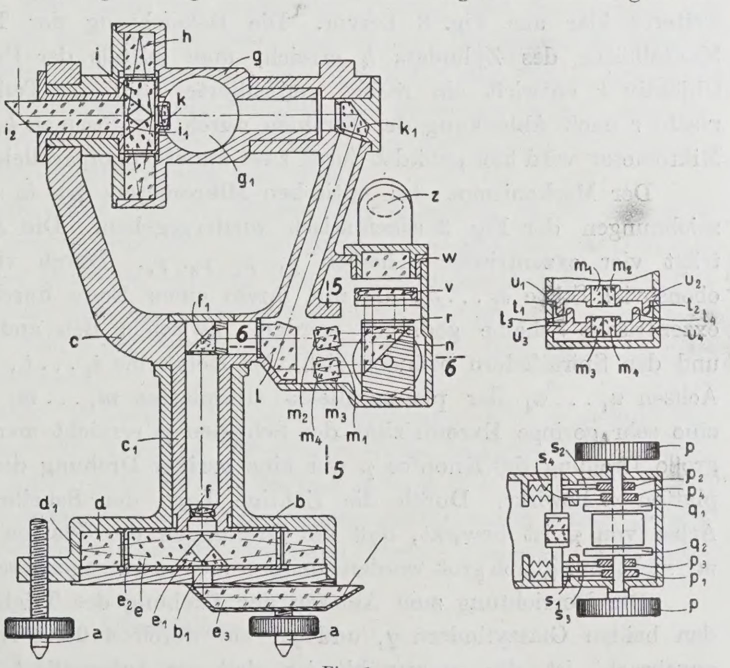


Fig. 3.

Aus Fig. 3 geht hervor, wie man diese Gedanken technisch ausgeführt hat. Betrachten wir hierzu den Horizontalkreis.

Die Kreisteilung ist in dem Spiegelbelag auf der äußeren Mantelfläche eines gläsernen Hohlzylinders d geätzt. Die Beleuchtung der Teilung erfolgt durch die Prismen e_3, (J_1, K_1 in Fig. 1) e_1 und e. Die großen Prismen e und die kleinen e_1 sind an die Vertikalachse angebaut, so daß immer nur die beiden Ablesestellen d_1 beleuchtet sind, und zwar mit derselben Intensität. Die an dem Spiegelbelag reflektierten Lichtstrahlen werden durch die Prismen e in der Richtung des Objektivs f abgelenkt. Nach Spiegelung auf den Prismen f_1 und n und Durchdringung der Parallelflächen der Prismen l und m_2 bzw. m_1 entsteht auf dem Glasplättchen r ein reelles, vergrößertes Bild der beiden Ablesestellen. Auf der Glasplatte r ist zugleich der Zeigerstrich Z_1, Z_2 angebracht. Mittels des gebrochenen Okulars H_3 (Fig. 1), das mit dem Reflexionsprima w endet, betrachtet man dieses Bild, das in Fig. 2 schematisch dargestellt ist.

Die Vorrichtung zur Bestimmung des Abstandes T_1 T_2 findet man in den planparallelen Glasplatten m_1 und m_2, die zusammen um eine Achse drehbar sind und ein optisches Mikrometer bilden. Sie sind so angeordnet, daß durch die eine Platte die Strahlen von der einen, und durch die zweite Platte diejenigen von der anderen Ablesestelle hindurchgehen. Durch Drehung dieser Platten in entgegengesetzter Richtung um eine Achse, welche rechtwinklig zum Strahlengang steht und durch die Mitte der Prismen geht, erreicht man eine Verschiebung der beiden Teilungsbilder gegeneinander. Geht man damit so weit, bis die Striche T_1 und T_2 zusammenfallen, so ist die hierzu erforderliche Drehung der Glasplatten ein Maß für den zu bestimmenden halben Abstand T_1 T_2.

Die Einrichtung zum Ablesen des Höhenkreises ist genau dieselbe und geht ohne weiteres klar aus Fig. 3 hervor. Die Beleuchtung der Teilung auf der äußeren Mantelfläche des Zylinders h erreicht man mittels der Prismen i_2, i_1 und i. Das Objektiv k entwirft ein reelles vergrößertes Bild der Teilung auf derselben Glasplatte r nach Ablenkung der Strahlen durch die Prismen k_1, l und n. Das optische Mikrometer wird hier gebildet durch zwei andere planparallele Glasplatten m_3 und m_4.

Der Mechanismus des optischen Mikrometers ist in den besonderen Schnittzeichnungen der Fig. 3 schematisch wiedergegeben. Die Achse des Triebknopfes p trägt vier exzentrische Scheiben p_1, p_2, p_3, p_4. Durch vier Führungslöcher gehen ebensoviel Stifte $s_1 \ldots s_4$, die mit ihrem einen Ende durch Spiralfedern gegen die exzentrische Scheibe gedrückt werden. Zwischen den anderen Enden dieser Stifte und den Spiralfedern befinden sich vier Hebearme $t_1 \ldots t_4$, welche fest mit den vier Achsen $u_1 \ldots u_4$ der planparallelen Glasplatten $m_1 \ldots m_4$ verbunden sind. Durch eine sehr geringe Exzentrizität der Scheiben p erreicht man also, daß eine ziemlich große Drehung des Knopfes p nur eine geringe Drehung der Achsen u und der Glasplatten m bewirkt. Durch die richtige Lage der Scheibenmittelpunkte gegen die Achse von p ist bewirkt, daß die Drehungen der Platten m_1 und m_2 bzw. m_3 und m_4 nicht nur gleich groß werden sondern auch in entgegengesetzter Richtung stattfinden.

Die Vorrichtung zum Ablesen der Drehung des Triebknopfes p befindet sich in den beiden Glaszylindern q_1 und q_2, auf deren äußerer Zylinderfläche eine Teilung angebracht ist, die so gewählt ist, daß ein Intervall 1 Sekunde der Entfernung $\frac{1}{2}(a_1 + a_2)$ entspricht. An einem Indexstrich ist es dann sogar noch möglich Zehntelsekunden abzuschätzen.

Fig. 4 zeigt einige Teilungsbilder, die man im Ableseokular H_3 erhält.

Die Gesichtsfelder H_1 und S_1 stellen die Bilder der Teilungen von Höhen- und Grundkreis dar. Unten erscheint die Minuten- und Sekundenskala, die somit gemeinsam für die Ablesung der beiden Kreise verwendet wird.

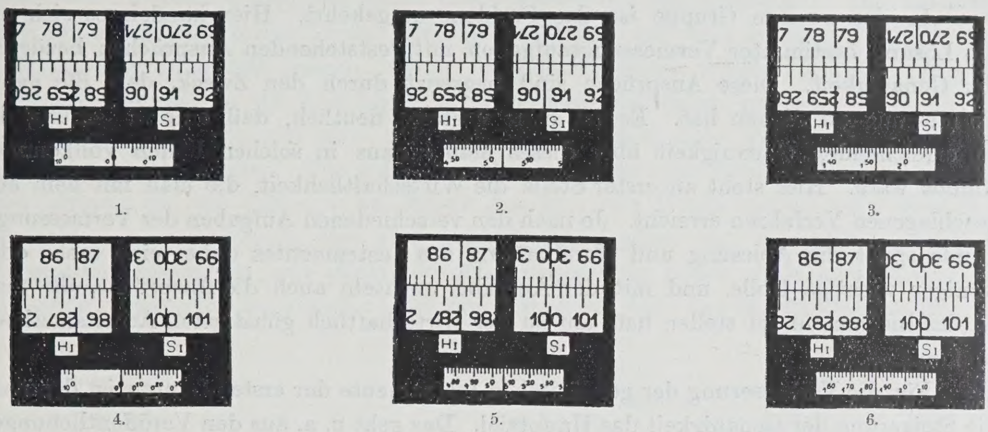


Fig. 4.

Bild 1 und 4 geben das Gesichtsfeld, nachdem man willkürlich einen Punkt angezielt hat, in der Nullstellung des Triebknopfes Q (Fig. 1 bzw. p aus Fig. 3). Wie schon gesagt, wird diese Einstellung bei der normalen Ablesung nicht gemacht. Nur bei geringer Genauigkeit (Tachymetrie), wo man die Sekundenskala nicht verwendet, bleibt bei allen Beobachtungen die Sekundenskala auf Null.

Als Ablesestelle gilt die genaue Mitte zwischen den Teilstrichen mit 180^0 (200^g) Winkelunterschied, des linken mit aufrechter Teilung und des rechten mit umgekehrter Bezifferung, die am nächsten zusammen stehen. Die Hälfte des Winkelwertes des Abstandes dieser Teilstriche hat man der Ziffer des linken aufrechten Grades hinzuzufügen. Die Halbierung des Winkelwertes geschieht, indem man das Intervall von 20′ ($0{,}2^g$) mit 10′ ($0{,}1^g$) bewertet. Die Gesamtablesung in den Bildern 1 und 4 beträgt somit $78^0 42'$; $90^0 35'$; $86^g{,}62$ und $100^g{,}15$.

Für feinere Ablesungen dreht man die Mikrometerschraube Q, bis die Teilstriche der aufrechten und die der umgekehrten Teilbilder genau einspielen. Am dritten Fenster liest man dann die einzelnen Minuten und die Sekunden ab. Bild 2 und 5 zeigen diese Einstellung für den Grundkreis (Seitenkreis S) mit den Ablesungen $90^0 35' 03''$ und $100^g{,}1506$. Bild 3 und 6 zeigen dasselbe für den Höhenkreis und ergeben $78^0\ 41'\ 52''$ und $86^g{,}6184$.

Die Mikrometerschraube Q braucht vor ihrer Einstellung nicht auf Null eingestellt zu sein, denn auch die Ablesung der ganzen Grade und das Abzählen der Teilungsintervalle um 10′ findet nach der Einstellung mittels Q statt.

Endlich ist noch zu bemerken, daß man mittels der Schraube L den Grundkreis verdrehen und Reiterationsverfahren anwenden kann. Repetitionsmessungen sind nicht möglich.

3. Allgemeines Prinzip.

Bei der Herstellung der geodätischen Instrumente lassen sich im wesentlichen zwei Hauptgruppen unterscheiden.

Zu der ersten Gruppe gehören diejenigen Konstruktionen, mit welchen man die höchste Genauigkeit zu verwirklichen sucht, die überhaupt erreichbar ist. Das sind

die großen astronomischen Instrumente, die großen Universale, und weiter die Theodolite für Triangulationen erster Ordnung. Bei allen diesen spielt die Genauigkeit die erste Rolle; und in zweiter Linie kommt dann noch die Forderung hinzu, daß das Arbeitsverfahren möglichst einfach und nicht allzu zeitraubend sei.

In der zweiten Gruppe ist das Problem umgekehrt. Hier handelt es sich um die Lösung bestimmter Vermessungsaufgaben mit feststehenden Ansprüchen bezüglich der Genauigkeit. Diese Ansprüche sind begrenzt durch den Zweck, dem die ganze Vermessung zu dienen hat. Es ist ohne weiteres deutlich, daß eine Steigerung der zu erreichenden Genauigkeit über dieses Maß hinaus in solchen Fällen vollkommen sinnlos wäre. Hier steht an erster Stelle die Wirtschaftlichkeit, die man mit dem eingeschlagenen Verfahren erreicht. Je nach den verschiedenen Aufgaben der Vermessungskunde spielt die Ablesung und Handhabung des Instrumentes dabei eine mehr oder weniger wichtige Rolle, und mit der Aufgabe wechseln auch die Ansprüche, die man an das Instrument zu stellen hat, um zu der wirtschaftlich günstigsten Arbeitsmethode zu kommen.

Für die Verbesserung der geodätischen Instrumente der ersten Gruppe ist demnach die Steigerung der Genauigkeit das Hauptziel. Das geht u. a. aus den Veröffentlichungen des Herrn Prof. Hk. J. Heuvelink über die Genauigkeitsuntersuchungen von Kreisteilungen hervor [4] [5].

Für die zweite Gruppe ist die Verbesserung zu suchen in Erhöhung der Ökonomie des ganzen Verfahrens. Diese setzt bequeme und schnelle Ablesung sowie einfache Handhabung des Instrumentes voraus. Dazu gehört natürlich auch, daß man die Instrumente den besonderen Arbeitsumständen und Transportverhältnissen anpaßt; so wird man z. B. diejenigen Theodolite, die wohl sehr schnelle Ablesung gestatten, aber sehr leicht zu beschädigen sind, ohne daß der Ingenieur selbst mit einfachen Hilfsmitteln eine Reparatur vornehmen kann, für Reise-Instrument als unwirtschaftlich bezeichnen.

Es gibt selbstverständlich auch Übergangsgebiete, wo Wirtschaftlichkeit des Verfahrens neben höchster Genauigkeit wünschenswert sind. Das ist z. B. der Fall bei den Landestriangulationen zweiter Ordnung, bei denen die wirtschaftliche Frage hervortritt infolge der großen Menge der zu bestimmenden Punkte.

Es soll nunmehr untersucht werden, wie mit dem neuen Zeiss-Theodolit und anderen Instrumenten die Lösung der eben umschriebenen Aufgaben zu erreichen ist. Dafür ist es aber notwendig, in den folgenden Abschnitten die Leistungsfähigkeit der beiden Gruppen von Instrumenten kennen zu lernen. Die hierauf bezügliche Untersuchungen sind zweierlei Art: in erster Linie Kreisteilungsuntersuchungen und dann Vergleichungen der Ergebnisse von Vermessungen im Felde.

Um die Vergleichung so genau wie möglich zu gestalten, teilen wir nur Kreisteilungsuntersuchungen mit, die von ein und demselben Beobachter (W. Schermerhorn) und unter denselben äußeren Umständen gemacht worden sind.

4. Kreisteilungsuntersuchung am Theodolit Zeiss I Nr. 15897.

Für den Gebraucher der Instrumente haben besonders bei dem neuen Zeiss-Theodolit nur die Durchmesser-Korrektionen Interesse. Die Fehler der einzelnen Striche sind hier ohne Bedeutung, weil die Fehler der zwei Striche eines Durchmessers gleichzeitig in der Ablesung des Glasmikrometers zum Ausdruck kommen. Die Methode, die am schnellsten und mit weit genügender Genauigkeit ein Bild nicht nur der

Kreisteilungsfehler liefert, sondern auch der ganzen Leistungsfähigkeit der Ablesevorrichtung, ist ohne Zweifel das Heuvelinksche Verfahren.

Da Herr Professor Heuvelink selbst in dieser Zeitschrift sehr eingehend das Programm der Beobachtungen und die Berechnung der mittleren Fehler veröffentlichen will, so genügt hier eine kurze Beschreibung der Beobachtungen. Der Theodolit war auf einem steinernen Pfeiler befestigt, während auf zwei anderen Pfeilern zwei Kollimatoren aufgestellt waren, deren Absehlinien einen Winkel von 45° bildeten. Dieser Winkel ist in 36 Kreislagen im Hin- und Rückgang gemessen worden. Sie waren in vier Reihen von neun Kreislagen verteilt und auch jede Reihe ist in Hin- und Rückgang gemessen. Für jede Reihe ist das Mittel aller Beobachtungen berechnet und daraus ist der Fehler x im Mittel aus den vier Winkelwerten jeder Kreislage bestimmt. Man bekommt also vier unabhängige Reihen von x, welche, graphisch dargestellt, zusammen eine Kurve bilden müssen. Je besser diese vier Reihen ineinander passen, um so genauer gibt die Kurve ein Bild der Kreisteilungsfehler.

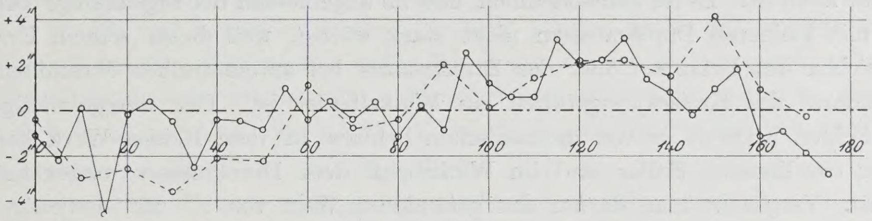


Fig. 5. Graphische Darstellung der x-Werte am Theodolit Zeiss I Nr. 15897.

Die Untersuchung erfolgte im Juni 1924 zunächst in 18 Kreislagen und im September, nachdem das Instrument im Felde gebraucht worden war, ist das vollständige Programm von 36 Kreislagen gemessen worden. Fig. 5 gibt die graphische Darstellung der Größen x der beiden Untersuchungen, die ziemlich gut übereinstimmen. Man hat dabei zu bedenken, daß die Beobachtungen vom Juni noch beeinflußt sind durch den Mangel an Übung mit diesem Instrument, was im September nicht mehr der Fall war. Aus den beiden Kurven geht hervor, daß nur ein kleiner periodischer Fehler vorhanden ist. Das ersieht man auch, wenn man den Einfluß dieses periodischen Fehlers auf die Ablesung einer Richtung in die Form einer Fourierschen Reihe bringt. Man findet für die Beobachtungen im September:

$$y = 1,08'' \sin(2\varphi + 91^0\,6') + 0,40'' \sin(4\varphi + 109^0\,45') + 0,06'' \sin(6\varphi + 177^0\,42'), \quad 1)$$

und im Juni:

$$y = 1,74'' \sin(2\varphi + 66^0\,33') + 0,48'' \sin(4\varphi + 13^0\,39') + 0,07'' \sin(6\varphi + 295^0\,36'). \quad 2)$$

Besonders bei der zweiten Formel mit der kleineren Anzahl von Beobachtungen sind die mittleren Fehler in den berechneten Koeffizienten so groß, daß der Unterschied zwischen den beiden Formeln keine reelle Bedeutung mehr hat. Im allgemeinen hat man genügende Übereinstimmung.

Weiter sind berechnet worden:

der mittlere Wert μ des Beobachtungsfehlers einer Richtung, abgeleitet aus den Unterschieden zwischen Hin- und Rückgang in derselben Kreislage;

der mittlere Wert τ der Fehler einer Richtung infolge der Kreisteilungsfehler;

dieselben mittleren Teilungsfehler τ', τ'', τ''', aber nachdem 1 bzw. 2 und 3 Glieder der Gleichung 1) in Rechnung gezogen sind;

der mittlere Wert $\sqrt{2\tau^2 + \mu^2}$ der totalen Fehler in einer doppelten Winkelmessung oder in einer Richtungsmessung. Aus den beiden Reihen wurde gefunden:

Mittlere Fehler	Juni ″	September ″
μ	1,36	1,13
τ	1,39	1,08
τ'	0,59	0,75
τ''	0,35	0,65
τ'''	0,49	0,69
$\sqrt{2\tau^2 + \mu^2}$	2,39	1,90

Wie schon gesagt, ist auf die Beobachtungen vom September das meiste Gewicht zu legen.

Aus diesen Ergebnissen geht hervor, daß die Teilung des Zeiss-Theodolits sehr gut ist und daß besonders der mittlere unregelmäßige Kreisteilungsfehler von rund 0,5″ sehr klein ist. Es ist wahrscheinlich, daß im allgemeinen der regelmäßige Teilungsfehler mit kleineren Durchmessern nicht stark wächst, weil dieser seinem Ursprung nach (Fehler des Urkreises oder des Zahnkranzes bei automatischen Maschinen oder Verspannung des Kreises) eigentlich ein Winkelfehler ist. Der unregelmäßige Teil dieser Fehler, insoweit er von mechanischen Fehlern in dem Reisser-Werk herrührt, ist aber ein linearer Fehler und im Winkelmaß dem Durchmesser umgekehrt proportional. Vergleicht man darum den gefundenen Wert von τ''' mit denjenigen aus den Untersuchungen des Herrn Prof. Heuvelink in der genannten Veröffentlichung für größere Instrumente mit Schraubenmikroskopen, so fällt die Güte dieser kleinen Teilung sehr auf.

Betrachtet man weiter den mittleren Wert der totalen Fehler in einer Richtungsmessung, so kann man diesen auf 2″ angeben. Daraus geht aber hervor, daß die Schätzung der Zehntelsekunden, die an der Minuten- und Sekundenskala möglich ist, keinen Wert hat. Diese Schätzung kann man natürlich ohne weiteres bei Theodoliten der gleichen Konstruktion fortlassen. Es ist somit die Frage, ob man unter Verwendung einer Skala in 10 Sekunden mit Schätzung der einzelnen Sekunden nicht zu einer einfacheren Form gekommen wäre, wie auch Wunderwald [3] bemerkt hat, und ferner, ob man nicht durch diese Teilung dem weniger gut orientierten Abnehmer den Eindruck einer Genauigkeit gibt, die das Instrument im wesentlichen nicht besitzt. Schon nach diesen Ergebnissen wäre eine Unterteilung in 10″ mit Schätzung der Sekunden besser in Übereinstimmung mit der allgemeinen Genauigkeit dieses Theodoliten, als das jetzt mit der Sekundenteilung der Fall ist.

Es ist hervorzuheben, daß man diese Resultate unter den günstigsten Verhältnissen bekommen hat. Um also die Leistungsfähigkeit dieser Konstruktion mit älteren Formen vergleichen zu können, ist es notwendig, auch von anderen Theodoliten die Ergebnisse von gleichartigen Untersuchungen mitzuteilen.

5. Kreisteilungsuntersuchungen an anderen Theodoliten.

In der Literatur findet man für die Bestimmung der Leistungsfähigkeit von kleineren Theodoliten mit Nonien oder Skalenmikroskopen meist Beobachtungen von willkürlichen Richtungen nach verschiedenen Zielen oder Exzentrizitätsbestimmungen. Nur in Ausnahmefällen hat man versucht, zugleich die regelmäßigen Teilungsfehler nachzuprüfen [6]. Für ungefähr 20 solcher Kreise habe ich bereits das Heuvelinksche Verfahren angewandt, das bis jetzt in der Hauptsache zur Prüfung von Kreisteilungen

diente, welche mittels Schraubenmikroskopen abgelesen wurden. Die folgenden Mitteilungen sind darum nicht nur interessant für die Vergleichung des neuen Zeiss-Theodoliten, sondern ich wünsche damit auch auf den großen Wert hinzuweisen, den das Heuvelinksche Verfahren für die Prüfung von kleinen Teilungen hat. Man soll dabei aber folgendes beachten. Bei der Betrachtung von τ hat man nämlich zu bedenken, daß die persönlichen Schätzungsfehler in μ nicht zum Ausdruck kommen, insoweit sie während einer doppelten Winkelmessung konstant bleiben. Diese Fehler erhöhen den Wert von τ, ohne daß wesentliche Kreisteilungsfehler vorhanden sind

Darin liegt somit eine gewisse Unsicherheit bei der Anwendung des Verfahrens auf Theodoliten mit Nonien und Skalenmikroskopen. Man kann aber auch einen Wert μ_2 berechnen aus den Unterschieden der Resultate der zwei doppelten Winkelmessungen einer Reihe. Wohl läuft man dabei in stärkerem Maße Gefahr, daß ein Teil der Unterschiede durch Winkeländerungen verursacht wird, aber einmal ist aus den Untersuchungen an den großen Schraubenmikroskop-Theodoliten bekannt, daß diese Änderung nur klein bleibt, und weiter ist es auch gar nicht schwer, ihnen in den Unterschieden Rechnung zu tragen. Man nimmt dafür die Änderung der Zeit proportional.

Es ist darum sehr gut möglich, auf zwei Wegen einen Wert von μ zu berechnen. In der Gleichung hat man eine Kontrolle für die Schätzung des Beobachters. Findet man μ_2 größer als $\sqrt{2\tau^2+\mu^2}$, so folgt daraus, daß die Ablesegenauigkeit nicht genügt, um den kleinen Kreisteilungsfehler festzustellen. Aber dann sind diese Fehler für das untersuchte Instrument auch ohne Bedeutung. Auch aus den Kurven wird man in solchen Fällen keinen deutlichen periodischen Fehler nachweisen können. Die Kurve ist darum bei der Betrachtung der Resultate sehr wichtig. Findet man darin keinen periodischen Verlauf, so kann die Berechnung der theoretischen Kurve und der Werte τ' τ'' τ''' fortgelassen werden, wobei man zu bedenken hat, daß dann die unregelmäßigen Teilungsfehler so klein sind, daß sie, der Ablesegenauigkeit gegenüber, nicht in Frage kommen.

Gibt also das Heuvelinksche Verfahren für Theodolite mit Schraubenmikroskopen die Möglichkeit, den Einfluß aller Durchmesser-Teilungsfehler zu bestimmen, so ist andererseits für Theodoliten mit Nonien und Skalenmikroskopen das Verfahren am besten geeignet, um festzustellen, ob regelmäßige Teilungsfehler vorhanden sind. Sind diese nicht nachweisbar, so hat die Trennung des mittleren Fehlers in τ und μ auch

Tafel 1.

Kreisteilungsuntersuchungen an Nonientheodoliten.

Nr.	Fabrikat	Fabriks-Nr.	Jahr	Durchmesser cm	Teilung in:	Nonienangabe	μ	τ	$\sqrt{2\tau^2+\mu^2}$	Zielpunkte
1	Fennel	12362	1921	12	20′	30″	2,5″	3,5″	5,5″	Turmspitze
2	Breithaupt	31140	1921	12	20′	30″	2,5″	2,5″	4,4″	„
3	„	31141	1921	12	20′	30″	3,0″	0,0″	3,0″	„
4	„	31051	1921	12	20′	30″	1,8″	1,8″	3,5″	„
5	Hildebrand	54352	1921	12	20′	30″	1,8″	3,2″	4,9″	„
6	Breithaupt	31263	1921	12	20′	30″	2,1″	2,4″	4,1″	„
7	Hildebrand	?	1922	12	20′	30″	2,3″	1,3″	2,9″	Kollimatore
8	Breithaupt	?	1921	12	0,05°	0,01°	2,4″	3,0″	4,8″	Turmspitze
									4,2″	
9	Hildebrand	53246	1921	16	10′	10″	1,3″	2,1″	3,4″	Turmspitze
10	Breithaupt	31922	1922	16	10′	10″	1,2″	4,6″	6,7″	Kollimatore
11	Breithaupt		1921	7		30″	3,0″	4,9″	7,6″	Turmspitze

nicht viel Wert. Aber man findet in $\sqrt{2\tau^2+\mu^2}$ doch immer einen sehr brauchbaren Ausdruck für die Leistungsfähigkeit des zu untersuchenden Instrumentes im allgemeinen, mit dessen Hilfe man verschiedene Konstruktionen miteinander vergleichen kann.

Um insbesondere den Wert der Fehlerkurven zu zeigen, sind in den Fig. 6 bis 12 einige Beispiele gegeben, die teilweise stark-periodische Fehler zeigen (Fig. 6 und 7).

Tafel 1 enthält die Untersuchungsergebnisse von 11 Nonientheodoliten. Als Zielpunkte sind hier meist keine Kollimatoren verwendet, sondern Turmspitzen. Die Genauigkeit braucht darum aber noch nicht so viel kleiner zu sein, weil die Entfernung der Türme nur 800 m war und der Theodolit ebenfalls auf einem steinernen Pfeiler gekittet war. Fig. 10 (S. 27) zeigt, daß man sogar in dem kleinen 7-cm-Nonientheodolit noch deutlich den periodischen Fehler nachweisen kann. Für die Theodoliten mit 12 cm Kreisdurchmesser und 30″ Nonienangabe ist der Mittelwert des Fehlers in der doppelten Winkelmessung 4,2″, also nur etwa doppelt so groß wie bei dem neuen Zeiss-Theodolit.

Tafel 2.

Kreisteilungsuntersuchungen an Mikroskoptheodoliten.

Nr.	Fabrikat	Fabriks-Nr.	Jahr	Durchmesser cm	Teilung in:	Ablesung	Dir. Angabe	μ	τ	$\sqrt{2\tau^2+\mu^2}$
12	Breithaupt	—	—	12	20′	Skalenmikr.	1′	2,2″	2,3″	6,5″
13	Sartorius	6592	1921	15	20′	„	1′	6,9″	7,2″	13,2″
14	Zeiss	11628	1922	12	20′	„	2′	2,1″	5,6″	8,2″
15	Breithaupt	32310	1922	12	20′	„	2′	1,9″	2,6″	4,2″
										6,3″
16	Breithaupt	31765	1922	16	0,10^g	„	0,01^g	4,3″	4,6″	7,8″
17	Hildebrand	60253	1924	16	0,20^g	„	0,02^g	2,5″	4,7″	7,8″
18	Fennel	10911	1922	18	0,10^g	Nonienmikr.	0,01^g	4,4″	21,2″	30,3″
19	Fennel	10911	1923	18	0,10^g	Skalenmikr.	0,01^g	6,0″	5,9″	10,2″
20	Hildebrand	59745	1923	16	0,20^g	„	0,02^g	3,3″	7,4″	11,0″
21	„	61230	1924	16	0,20^g	„	0,02^g	4,1″	3,8″	6,8″
										8,7″

Tafel 2 gibt dasselbe für Theodolite mit Skalenmikroskopen. Daraus geht hervor, daß die Genauigkeit der Skalenmikroskopablesung an 12-cm-Theodoliten kleiner ist, als mit Hilfe eines Nonius zu erreichen ist. Nr. 13 ist in dem mittleren Wert von 6,3″ nicht mit in Rechnung getragen, weil das Instrument in seiner ganzen Konstruktion zweitklassig ist und den andern Nummern der Reihe nachsteht, was auch aus dem Wert für μ deutlich hervorgeht.

Die Nummern 16, 17, 19 bis 21 sind Mikroskoptheodolite ohne Höhenkreis, die unmittelbar folgen auf die Theodoliten mit Schraubenmikroskopen und sehr geeignet sind für Katastervermessungen, Triangulation 3. Ordnung, Polygonmessung und Dreiecksmessung. Diese Theodoliten hat man darum bezüglich der Genauigkeit mit dem neuen Zeiss-Theodolit zu vergleichen.

Nr. 18 ist ein Theodolit, der mit Nonienmikroskopen geliefert worden ist, welche nach Verbesserung der Teilung in Skalenmikroskopen umgeändert sind. Fig. 6 gibt die graphische Darstellung der Größen x für Teilung 18 und Fig. 7 gibt diese für Nr. 10. Diese beiden Figuren zeigen klar und deutlich die Brauchbarkeit des Heuvelinkschen Verfahrens für die Prüfung von Kreisteilungen. Weiter geht auch daraus hervor, daß die Teilungsfehler über die Ablesegenauigkeit hinausgehen und darum

unzulässig sind; wäre das nicht der Fall, so hätte man nicht so eine schöne Fehlerkurve bekommen. Und zum dritten folgt aus den Teilungen 10 und 18, welche auf automatischen Maschinen hergestellt sind in Werkstätten, die übrigens die schönsten erstklassigen Ergebnisse geliefert haben, daß die Herstellung von Kreisteilungen auf

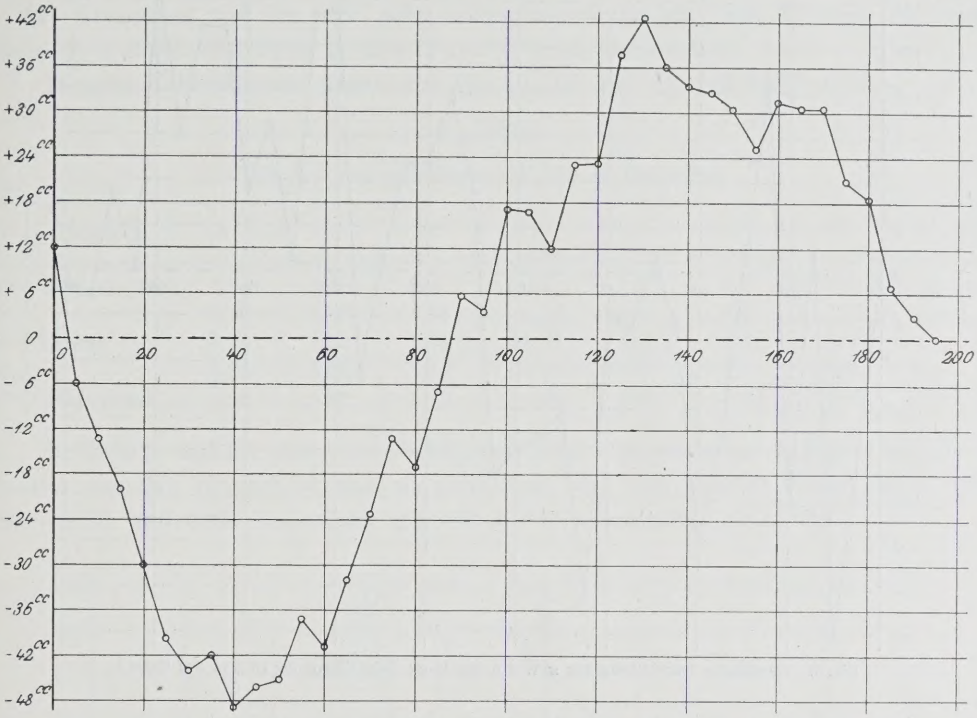


Fig. 6. Graphische Darstellung der x-Werte am Theodolit Fennel Nr. 10911 (Nr. 18 der Tafel 2).

automatischen Maschinen vermutlich nicht die mathematische Sicherheit gibt, daß alle Teilungen insoweit gleichförmig sind, um sie als fehlerfrei betrachten zu können. Um das festzustellen, wäre es wünschenswert, eine größere Reihe von Teilungen von diesen Maschinen nach unserem Verfahren zu untersuchen. Ist es Tatsache, daß man neben sehr schönen Teilungen der voll-automatischen Maschinen mehrere fehlerhafte findet, wie von mir erwähnt, so ist das eine große Gefahr. Die Tatsache, daß man

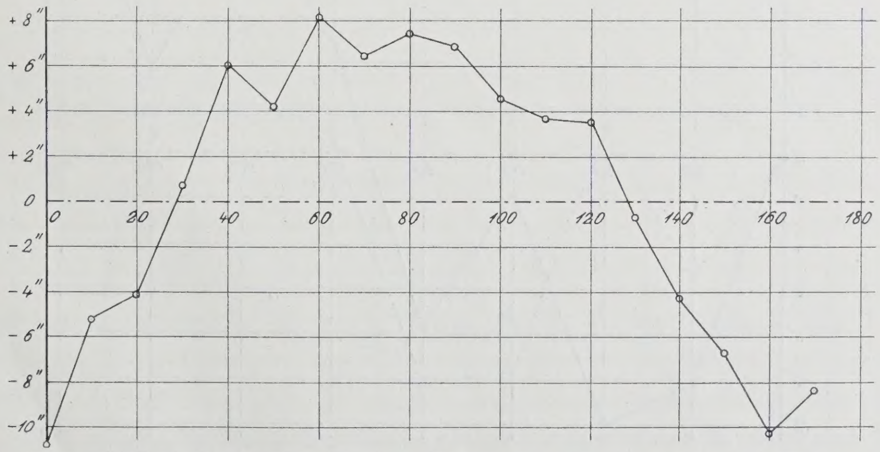


Fig. 7. Graphische Darstellung der x-Werte am Theodolit Breithaupt Nr. 31922 (Nr. 10 der Tafel 1).

mit der voll-automatischen Maschine glänzende Teilungen hergestellt hatte, würde damit viel an ihrer Wichtigkeit verlieren.

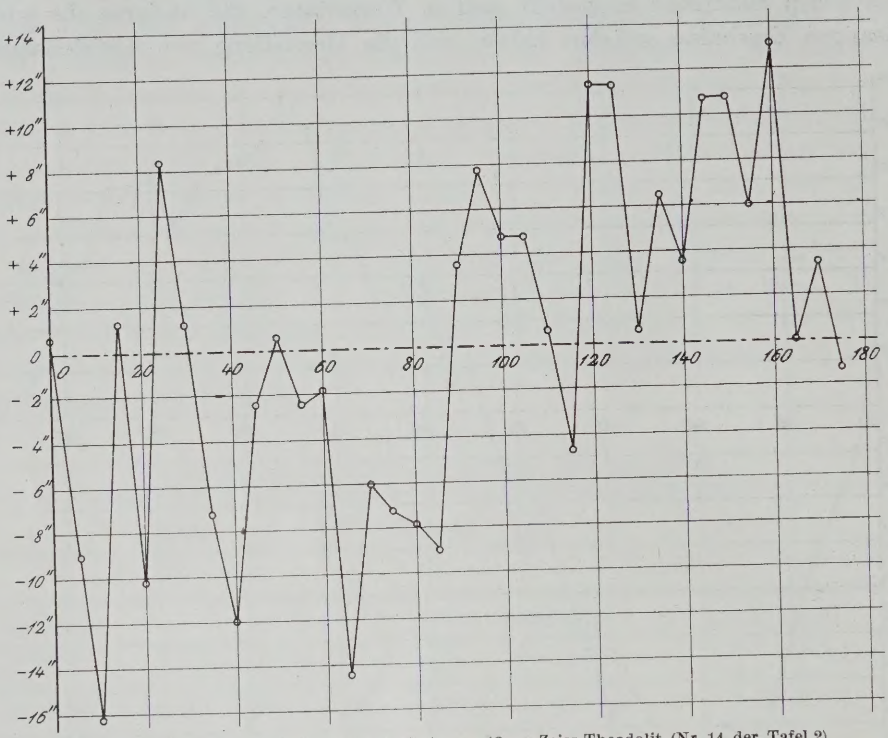


Fig. 8. Graphische Darstellung der x-Werte am 12-cm-Zeiss-Theodolit (Nr. 14 der Tafel 2).

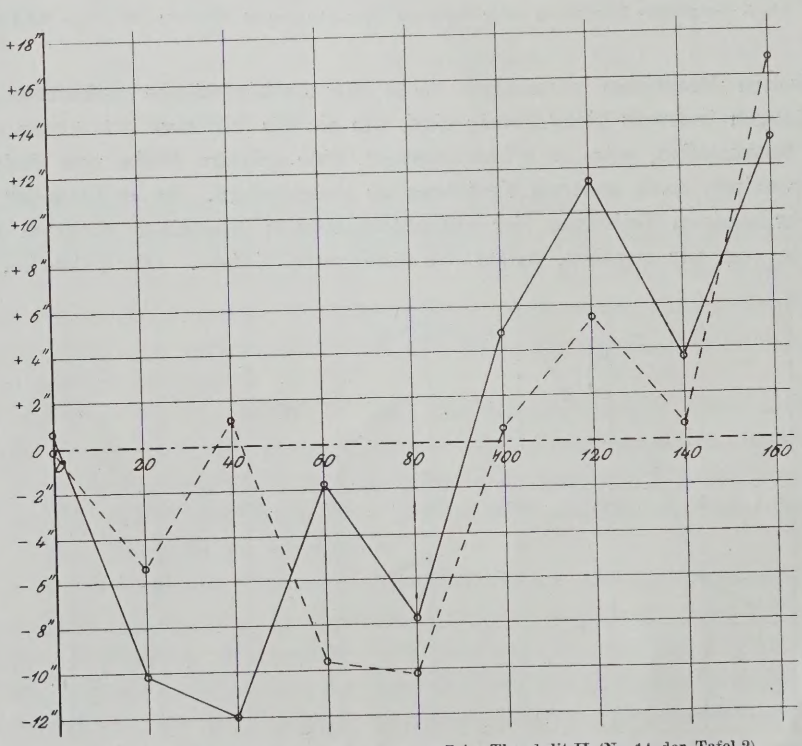


Fig. 9. Kontrollmessung der x-Werte am 12-cm-Zeiss-Theodolit II (Nr. 14 der Tafel 2).

Nr. 14, ein Repetitionstheodolit II von Carl Zeiss, zeigt in Fig. 8 eine sehr unregelmäßige Fehlerkurve und steht hinter den beiden 12-cm-Breithaupt-Theodoliten 12 und 15. Daß die Teilung ziemlich starke unregelmäßige Teilungsfehler hat, geht hervor aus Fig. 9. Zur Kontrolle habe ich die erste Reihe von neun Kreislagen wiederholt. Das Ergebnis findet man in der gestrichelten Linie, die besonders in den Kreislagen 80^0 bis 160^0 sehr schön übereinstimmt. Die Teilung des neuen Theodoliten zeigt also einen großen Fortschritt an Genauigkeit.

Weitere Fehlerkurven zeigen die Fig. 10, 11 und 12 auf S. 27 u. 28.

Tafel 3.

Einfluß der periodischen Fehler in Sekunden.

Nr.	Fabrikat	a	b	c	r	r'	r''	r'''	Teilung
10	Breithaupt	6,0	0,7	0,0	4,6	1,1	0,9	1,0	sexag.
16	„	3,96	1,89	1,19	4,57	2,91	1,91	1,81	cent.
18	Fennel	27,75	2,73	1,84	21,27	4,68	3,81	3,65	„
19	„	5,88	3,02	1,05	5,85	4,70	3,57	3,66	„
17	Hildebrand	2,93	0,38	1,12	4,66	4,26	4,38	4,45	„

In Tafel 3 sind für einige der wichtigsten Kreise die periodischen Fehler berechnet. Schaltet man Nr. 10 und 18 aus, so sieht man, daß der Einfluß dieser Fehler sehr klein bleibt und ohne Bedeutung gegenüber der Ablesegenauigkeit ist.

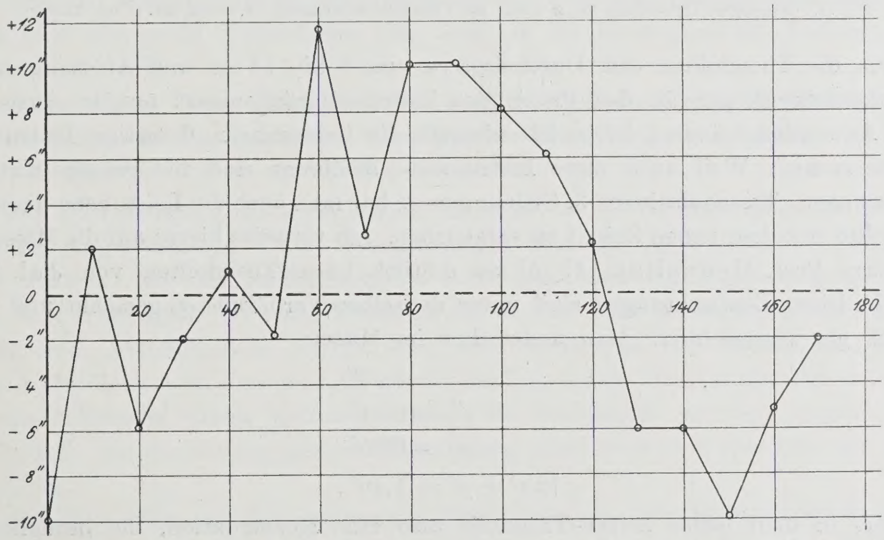


Fig. 10. Graphische Darstellung der x-Werte am 7-cm-Breithaupt-Theodolit (Nr. 11 der Tafel 1).

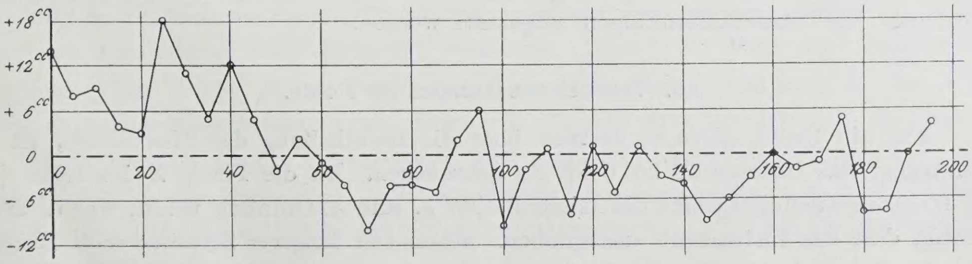


Fig. 11. Graphische Darstellung der x-Werte am Theodolit Breithaupt Nr. 31765 (Nr. 16 der Tafel 2).

Bei der Betrachtung der Nr. 19 und 20 hat man zu bedenken, daß dort Mikroskop B von einem weniger geübten Beobachter abgelesen ist. Es ist darum am richtigsten, wenn man das Mittel nimmt aus den drei 16 cm-Mikroskop-Theodoliten Nr. 16, 17 und 21, an welchen die Beobachtungen durchweg von demselben Beobachter erfolgten wie an dem neuen Zeiss-Theodoliten. Für $\sqrt{2\tau^2+\mu^2}$ findet man an diesen drei Instrumenten im Mittel 7,5^{cc} = 2,5″. Nimmt man jedoch noch die beiden Nr. 19 und 20 hinzu, so ist derselbe Mittelwert rund 3″. Da man bei dem neuen Zeiss-Theodoliten rund 2″ gefunden hat, so stellt sich heraus, daß der Unterschied der Genauigkeit sehr viel kleiner ist, als man aus den Ablesevorrichtungen mit ihrer direkten Angabe von 1 Sekunde und 1 Minute erwarten konnte. Auch mit dem großen Nonientheodoliten mit 16 cm Kreisdurchmesser und 10″ Angabe gibt es nur sehr wenig Unterschied. Stärker ist das aber der Fall bei Instrumenten mit kleinerem Kreisdurchmesser, entweder mit Nonien- oder mit Skalenmikroskopen.

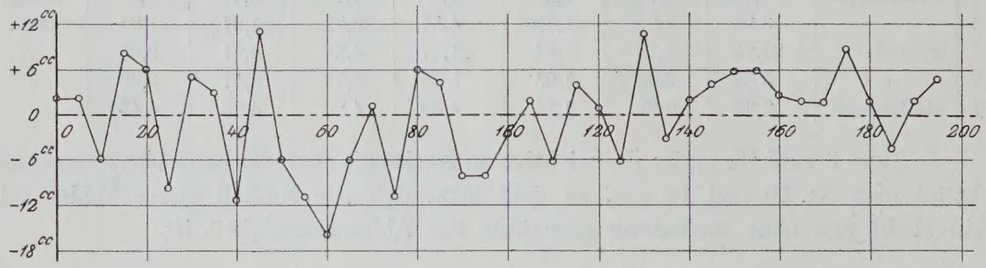


Fig. 12. Graphische Darstellung der x-Werte am Theodolit Hildebrand Nr. 60253 (Nr. 17 der Tafel 2).

Da die Theodoliten mit Durchmessern von 8 bis 14 cm und Ablesung mittels Schraubenmikroskopen in der Praxis des Vermessungsingenieurs nur in Ausnahmefällen Anwendung finden, hatte ich niemals die Gelegenheit, derartige Instrumente zu untersuchen. Weil auch diese Instrumente bestimmt sind für genaue Katastervermessungen, Triangulationen 3. Ordnung usw., hat man auch die Leistungen derartiger Theodolite mit dem neuen Zeiss I zu vergleichen. Ich verweise hierzu auf die Messungen des Herrn Prof. Heuvelink [4] [5] an 6 Stück 14-cm-Theodoliten von Jul. Wanschaff. Diese Beobachtungen sind unter denselben Verhältnissen gemacht und somit ziemlich gut vergleichbar. Man findet dort im Mittel:

$$\tau = 0{,}69''$$
$$\tau''' = 0{,}51''$$
$$\mu = 0{,}85''$$
$$\sqrt{2\tau^2+\mu^2} = 1{,}29''.$$

Man hat in dem neuen Zeiss-Theodolit also eine Konstruktion, die bezüglich der Genauigkeit, wie man im Laboratorium findet, zwischen den Instrumenten steht, welche Kreisdurchmesser von 14 bis 16 cm haben und einerseits mit Schrauben- und anderseits mit Skalenmikroskopen abgelesen werden.

6. Versuchsmessungen im Felde.

Um ein Urteil geben zu können über die Handhabung des Theodoliten, ist es notwendig, das Instrument im Felde zu gebrauchen. Da die Firma Zeiss selbst [1] als Hauptverwendungsgebiet die Triangulation 3. und 4. Ordnung nennt, war es auch richtig, dort das Instrument auszuproben. Schon seit längerer Zeit war mein Bureau mit der Triangulation für die Flußkarten der Maas beschäftigt. Dabei wurden im

allgemeinen der Theodolit von Hildebrand Nr. 20 aus Tafel 2 und ein Theodolit von Breithaupt, der genau der Nr. 16 aus Tafel 2 entspricht, verwendet. Das letztere Instrument war aber damals nicht frei, weshalb für die Versuchsmessung verwendet wurden:

a) Kataster-Theodolit Hildebrand (Kat. Tk. 9 Nr. 59) [7],
b) Repetitions-Theodolit von Carl Zeiss (Kat. Nr. II),
c) Zeiss-Theodolit I.

Als Beobachtungsgebiet ist gewählt die Mündung der Maas, unmittelbar unterhalb der großen 1400 m langen Eisenbahnbrücke bei Moerdijk. Gemessen ist also das Dreiecksnetz über das „Hollandsch Diep" zwischen der Brücke und Willemstad. Die Länge der Seiten ist 2 bis 3 km. Es war nicht möglich, ohne weiteres die gewöhnlichen Fluchtstäbe anzuwenden, weil man diese wegen der großen Entfernung in den Fernröhren der drei Instrumente, die eine 24-, 30- und 18-fache Vergrößerung haben, nicht scharf sehen konnte. Besonders hier war die kleine Vergrößerung des Zeiss-Theodoliten I ein Nachteil, der auch durch die schöne Helligkeit des Fernrohres nicht aufgehoben werden konnte. Ich habe 12 Stück Blechzylinder mit einer Höhe von 30 cm und 22 cm Durchmesser konstruieren lassen. Auf der Grundfläche des Zylinders war ein Blechkegel gelötet und in dessen Spitze war ein Loch gelassen für die Fluchtstäbe. Der Blechzylinder wurde genau zentrisch an die Fluchtstäbe von 3 m Länge befestigt und weiß-rot angestrichen. Die Fluchtstäbe wurden in kleinen eisernen Stativen mittels Libellen genau senkrecht aufgestellt. Auf diese Weise bekam man scharfe Zielpunkte, die so gut wie möglich zentrisch aufgestellt waren. Daß man mit der einen Hälfte der Seiten über eine große Wasserfläche ging, war für die Genauigkeit der Anzielung sehr günstig.

Neben diesen Beobachtungen haben auch Dreiecksmessungen stattgefunden mit kleineren Seiten zur Festlegung von besonders wichtigen Punkten auf jedem der beiden Ufer. Die Zielweite dabei war 50 bis 300 m.

Für die Festlegung des ganzen Dreiecksnetzes hat man sich in mehreren Punkten rückwärts eingeschnitten. Diese Beobachtungen sind alle als Satzbeobachtungen gemacht worden. Mit den Instrumenten *a* und *b* hat man dabei gemessen in 6 und mit *c* in 4 Kreislagen. In jeder Kreislage ist in Hin- und Rückgang gemessen. Für alle anderen Dreieckspunkte ist mit allen Instrumenten in vier Kreislagen gemessen worden. Die Messungen sind gemacht worden im September 1924 bei ziemlich schlechten Wetterverhältnissen durch Verfasser dieses als Beobachter an dem neuen Zeiss-Theodoliten. An den beiden anderen Theodoliten arbeiteten zwei ebenfalls gut geübte Beobachter.

Alle Ablesungen an dem Instrument Zeiss I und eine Anzahl willkürlicher Punkte der beiden anderen Instrumente sind ausgeglichen worden nach Formel 5, Seite 203, von Jordans Handbuch der Vermessungskunde Bd. I, 7. Auflage. Man hat also aus der Stationsausgleichung nach vollen Richtungssätzen den mittleren Fehler m_s in der einzelnen Einstellung einer Richtung berechnet. Diesen m_s kann man unmittelbar vergleichen mit $\sqrt{2\,\tau^2 + \mu^2}$ aus der Kreisteilungsuntersuchung, weil auch m_s der m. F. einer doppelten Winkelmessung ist. Tafel 4 (S. 30) gibt eine Übersicht der Ergebnisse.

Für das Hildebrand-Instrument hat man fünf gewöhnliche Dreieckspunkte gesucht mit großen Zielweiten. Alle Ergebnisse sind umgerechnet in alter Teilung. Für den Theodolit Zeiss II habe ich nur Punkte berechnet, die als Rückwärtseinschnitt zu betrachten sind.

Tafel 4.

Mittlerer Fehler der einmaligen Beobachtung einer Richtung.

Instrument	n Richtngn.	n_t Türme	n_P Punkte	m	m
Zeiss I	7	7		5,1″	
	6	6		3,7″	
	8	8		6,1″	
	3		3		2,1
	4		4		3,0
	3		3		2,5
	3		3		4,0
	3		3		3,4
	3		3		3,5
	3		3		4,6
				5,0″	3,4
Hildebrand TK 9	3		3		5,3
	8	5	3	6,5″	
	4		4		6,0
	4		4		6,3
	9	5	4	7,0″	
	10	7	3	7,2″	
	5		5		4,7
	11	6	5	6,4″	
	5		5		4,4
	7	7		7,5″	
	6	6		7,2″	
				7,1″	5,4
Zeiss II	9	7	2	8,9″	
	5	3	2	7,2″	
	7	7		8,6″	
	8	6	2	11,4″	
	8	6	2	8,9″	
				8,9″	
Hildebrand TK 9 neu	6	6		5,0″	
	6	6		5,7″	
	7	6	1	4,5″	
	6	6		4,5″	
				4,9″	

Den Zahlenwerten brauche ich nur sehr wenig hinzuzufügen. Die sehr kleinen Unterschiede in dem berechneten mittleren Fehler untereinander sind eine Bürgschaft für die Zuverlässigkeit derselben. Sie zeigen deutlich, daß die Erhöhung der Genauigkeit mit dem neuen Zeiss I gegenüber den guten Theodoliten mit Skalenmikroskopen und Nonien von genügendem Kreisdurchmesser (15 u. 16 cm) nicht übergroß ist

Bei der Betrachtung der Beobachtungsergebnisse hat man noch in Rechnung zu ziehen, daß der Hildebrand-Theodolit von November 1923 bis September 1924 ununterbrochen im Felde bei der Maas-Triangulation gebraucht worden ist. Das beeinträchtigt natürlich noch ziemlich stark eine gerechte Vergleichung der beiden Instrumente. Leider habe ich vor den Versuchsmessungen am Hollandsch Diep nicht Gelegenheit gehabt, den Hildebrand-Theodolit von einem Feinmechaniker reinigen und justieren zu lassen. Um den Einfluß dieses Umstandes doch einigermaßen schätzen zu können, habe ich in derselben Weise vier willkürlich gewählte Beobach-

tungsreihen für Rückwärtseinschnitt aus November und Dezember 1923 von demselben Beobachter wie am Hollandsch Diep ausgeglichen. Die Witterungsverhältnisse waren dabei sehr verschieden, jedoch meistens schlecht.

Es ergibt sich, daß der mittlere Fehler im Laufe des Jahres von rund 5″ bis auf 7″ gewachsen ist. Auch hier hat man untereinander wieder schöne Übereinstimmung, und man sieht, daß die Genauigkeit hier sogar ebenso groß ist wie bei dem Zeiss I.

Aus diesen Versuchsmessungen geht hervor, daß für Triangulationen im freien Felde die Genauigkeit des neuen Zeiss-Theodoliten ungefähr dieselbe ist als bei 16-cm-Theodoliten mit Skalenmikroskopen aus guten Werkstätten.

Noch stärker wie aus der Kreisteilungsuntersuchung geht aus diesen Resultaten hervor, daß die Sekundenteilung durch die Genauigkeit des Theodoliten im ganzen nicht gerechtfertigt wird und einen Vermessungspraktiker leicht dazu bringt, an das Instrument höhere Ansprüche zu stellen, als der Leistungsfähigkeit des Theodoliten entspricht.

Daß der mittlere Fehler so viel größer wird, ist teilweise auf die Einstellung des optischen Mikrometers zurückzuführen. Wenn man sich bei windigem Wetter hinter dem Instrument hin und her bewegt, so ist diese Einstellung gar nicht so einfach, und es dauert auch ziemlich lange, bevor man gute Übereinstimmung bekommt. Auch bei Theodoliten mit Schraubenmikroskopen ist das der Fall, aber dort geben vier Einstellungen zusammen eine Richtung mit dem Erfolg, daß dadurch diese „Wind-Einstellfehler“ unschädlich gemacht werden. Trotzdem bleibt die Tatsache, daß Instrumente mit Schraubenmikroskopen nicht sehr geeignet sind für die Anwendung im freien Felde.

Mit dieser Bemerkung hängt die Schnelligkeit der Ablesung zusammen. Meine Erfahrung ist, daß man genau so viel Zeit braucht wie bei Ablesung von Theodoliten mit Skalenmikroskopen. Im Laboratorium ändert sich das noch zugunsten des Zeiss I, aber im Felde ist ein sehr gut geübter Beobachter notwendig, um mit dem Zeiss I die Schnelligkeit der Skalenmikroskopen zu bekommen. Dem Theodoliten mit Schraubenmikroskopen gegenüber ist der Zeiss I natürlich bezüglich der Sahnelligkeit weit im Vorteil. Wenn man aber diesen Theodolit nur mit Instrumenten mit Schraubenmikroskopen mit derselben Genauigkeit in Konkurrenz treten läßt, so verliert er für die geodätische Praxis wesentlich an Bedeutung.

7. Der Bau von kleinen Tascheninstrumenten.

Es ist ein langer Weg von den großen Mauerquadranten bis zu dem neuen kleinen Zeiss-Theodoliten. Und dazwischen haben die Konstrukteure sich öfters Mühe gegeben, den Winkelmeßinstrumenten bequemere Form und ein geringeres Gewicht zu geben. Die Frage ist, wie weit man damit gehen kann und ob es zu erwarten ist, daß dieses Bestreben bestehen bleibt, auch nach den heutigen Konstruktionen.

Den einzig richtigen Standpunkt gegenüber dieser Frage findet man in der Untersuchung der Wirtschaftlichkeit der bezüglichen Typen. Auch dabei soll man seinen kritischen Geist nicht verlieren in Bewunderung für die feinmechanische Leistung der heutigen Werkstätten. Denn es geht nur darum, ob der Konstrukteur die feinmechanischen Möglichkeiten der modernen Technik anwendet für Zwecke, die geodätisch wirtschaftlich sind.

Schon vor ungefähr 60 Jahren bauten die Firmen Lingke und Breithaupt 10-cm-Theodoliten mit Nonienablesung bis zu 1 Minute. Daneben konstruierte man für Reisezwecke kleine Nonien-Universale. Für die Instrumente, wo nicht der Trans-

port eine überwiegende Rolle spielte, hat man immer an Kreisdurchmessern von 12 bis 16 cm festgehalten. Das hängt zusammen mit der Brennweite des Fernrohrobjektivs usw. Das Gewicht der Instrumente für allgemeine Vermessungszwecke ist im Laufe der Zeiten bis zu ungefähr 10 kg für Instrumente mit Schrank hinuntergedrückt worden. Das Stativ dazu wiegt im Mittel 6 bis 7 kg. Für alle Kataster-, Eisenbahn-, Wasserbau- und Stadtvermessungen in zivilisierten Ländern hat eine Herabsetzung des Gewichtes bis auf z. B. 6 kg mit Wirtschaftlichkeit nur sehr wenig zu tun. Das ist vielmehr eine Frage der Bequemlichkeit für den Vermessungsingenieur, der selbst das Instrument mit Schrank trägt und dabei um 4 kg weniger zu tragen hat. Kein Mensch aber kann unter normalen Verhältnissen Bedenken dagegen haben, 12 kg auf seinem Rücken zu tragen, und ich glaube auch nicht, daß die mittlere Tagesleistung bei dieser geringen Gewichtsverminderung von 12 bis auf 6 kg etwas erhöht wird. Nur bei schwerem Transport im Gebirge und auf Forschungsreisen spielt das eine wichtige Rolle. Und besonders bei Vermessungen unter Tage sind die kleinsten Instrumente von Vorteil. Daß darum das Bestreben besteht, kleine Theodoliten zu bauen, ist richtig. Es ist aber zu bedauern, daß der jetzige scharfe Konkurrenzkampf der deutschen feinmechanischen Werkstätten gegeneinander und gegen die Konkurrenz aus anderen Ländern ein Verfahren gezeitigt hat, das auch das geodätische Instrumentenwesen der Mode unterwirft. So kann ich auch z. B. in der Anwendung von 8-cm-Theodoliten mit Schraubenmikroskopen auf Stadtvermessung [8] nichts anderes sehen wie einen Erfolg der Mode für kleine Instrumente. Nach meiner Ansicht ist der Verwendungsbereich derartiger Konstruktionen sehr gering, solange man sich auf den sicheren Boden der Wirtschaftlichkeitsfrage stellt.

8. Anwendung des neuen Zeiss I in der Praxis.

A. Für Triangulation.

Für Triangulation 3. und 4. Ordnung ist das Instrument besonders geeignet, und namentlich beim Rückwärtseinschnitt in vier Kreislagen bekommt man Resultate hoher Genauigkeit. Für Dreiecksmessung 4. Ordnung genügen schon zwei Kreislagen. Besser ist dann aber, zwei volle Sätze in vier Kreislagen zu verwenden, weil zwei Kreislagen mit Rücksicht auf die Zuverlässigkeit der Beobachtungen unerwünscht sind.

B. Für Polygonmessung.

Für diesen Zweck ist das Instrument offenbar nicht gebaut. Es ist bekannt, daß bei diesen Messungen die Genauigkeit begrenzt wird durch die Sicherheit und Genauigkeit der Zentrierung von Theodolit und Signalen. Da hier keine andere Möglichkeit besteht, um das Instrument zu zentrieren als mittels des Schnurlotes, so versteht man leicht, daß eine Genauigkeit der Ablesung bis auf einzelne Sekunden für diese Beobachtungen zwecklos ist. Meiner Ansicht nach ist das Fehlen der Möglichkeit von Zwangszentrierung und optischer Zentrierung ein sehr großer Fehler, die das Instrument für alle genauen Polygonmessungen über und unter Tage unbrauchbar macht und, bei Verwendung für Polygonmessungen, die Ablesungsmöglichkeit bis auf einzelne Sekunden zu einer unwirtschaftlichen Komplikation herabsetzt. Das ist auch die Ursache, warum das Instrument nicht geeignet ist als allgemeines Instrument für Kataster-, Gruben- und Stadtvermessungen, weil gerade dabei die optische Zentrierung eine große Rolle spielt. Für diese Beobachtungen ist natürlich der Höhenkreis als vollkommen überflüssig zu betrachten, wie auch schon Wunderwald [3] bemerkt hatte.

C. Für Tachymetrie.

Besonders bei der Tachymetrie ist die Schnelligkeit, mit welcher die Ablesungen stattfinden, sehr wichtig. Hier jedoch arbeitet man im Verhältnis zur Zeit der ganzen Vermessung sehr viel länger an dem Instrument wie bei der Triangulation, wo viel Zeit verloren geht mit Vorarbeiten, oder bei Polygonmessungen, wo der Standpunktwechsel relativ viel Zeit erfordert.

Die gemeinsame Ablesung an beiden Kreisen mittels eines Mikroskops ist darum, besonders für Tachymetrie, als eine sehr wirtschaftliche Lösung der Aufgabe zu betrachten. Dieses Prinzip, aber in noch einfacherer Konstruktion, verdient für Tachymetrie allgemeine Nachfolge. Hätte man auch hier nicht eine vollkommen überflüssige Genauigkeit der Kreisablesung neben einem viel zu schwachen Fernrohr, so hätte man ein schönes Tachymeter. Wohl ist es möglich bis auf Minuten abzuschätzen, wenn man das optische Mikrometer nicht verwendet, aber es ist klar, daß das gewöhnliche Strichmikroskop weit einfacher ist, kürzere Zeit für jede Ablesung erfordert und also auch wirtschaftlicher ist. Für Eisenbahn- und Wasserbauvorarbeiten, wo man Tausende von Punkten zu bestimmen hat, bedeutet jede Sekunde pro Ablesung einen Verlust an Wirtschaftlichkeit. Für solche tachymetrischen Arbeiten ist darum das Bestreben nach Instrumenten, die für jeden Zweck verwendet werden können, zu bedauern, sobald man die besonderen Anordnungen für die Tachymetrie dadurch nicht mehr erfüllen kann. Besonders für Felder-Tachymetrie hat man jetzt die Wirtschaftlichkeit im Auge zu halten im Hinblick auf die Konkurrenz der Luftaufnahme. Dafür ist es notwendig, daß man Instrumente verwendet mit der höchsten Leistungsfähigkeit für diesen besonderen Zweck. Nur für Behörden, wo die Tachymetrie eine untergeordnete Rolle spielt, ist es erlaubt, die Ansprüche der Wirtschaftlichkeit aufzugeben zugunsten des Wunsches, daß das Instrument auch geeignet sei z. B. für Triangulation. Man hat bei Spezialtachymetern zu bedenken, daß man an beiden Kreisen nur an einer Stelle abliest, und daß dafür die gewünschte Genauigkeit nur bis auf 2 Minuten geht. Weiterhin braucht man ein Fernrohr von genügender Helligkeit und Vergrößerung.

Für Genauigkeitstachymetrie, bei welcher man mit Vorteil die Dieperinksche Teilung verwendet, gilt genau dasselbe. Die Fernrohrvergrößerung soll wenigstens 30-fach sein.

Für die beiden Kreise genügen Durchmesser von 10 cm und Strichmikroskope sind daher zu empfehlen. Man wird einsehen, daß diese weit einfacher in der Ablesung sind wie die Vorrichtung des neuen Zeiss I. Wäre es bei diesem Instrument möglich, den Strahlengang von einer der beiden Ablesestellen an Grund- und Höhenkreis abzublenden und hätte man dazu einen einfachen Indexstrich, so bekäme man etwas in der gewünschten Richtung.

Die Firma Breithaupt-Cassel hat derartiges in einfacher Form in ihrem neuen Steilschacht-Theodolit geschaffen. Dort hat man (s. Fig. 13) im Gesichtsfelde eines Strichmikroskops, dessen Okular auch schwenkbar ist, für beide Fernrohrlagen übereinander die Bilder einer der beiden Ablesestellen am Grund- und Höhenkreis. Dies bewirkt man mit Hilfe eines einzelnen Prismas, das in der Fernrohrstütze eingebaut ist. Dadurch ist für die Tachymetrie also ungefähr dasselbe erreicht, wie bei dem Zeissschen Theodolit, aber in einfacherer Form und demzufolge auch besser für die Tachymetrie. Natürlich ist diese Vorrichtung nicht hinreichend für die Polygonmessung, welche die Standpunkte gegeneinander festlegt. Dafür genügte es, wenn man neben dieser Ablesevorrichtung an der anderen Ablesestelle ein Skalenmikroskop hätte. Auch wäre es möglich, zwei Skalenmikroskope ein wenig verdreht, anzubringen. Das hat

aber nur Zweck, wenn man das Instrument auch für Triangulation usw. verwenden will. Ist das nicht der Fall, so reicht ein Skalenmikroskop vollständig aus, da bei der modernen Technik für diese Genauigkeit die Exzentrizität gar nicht in Frage kommt. Auch wäre es möglich, im Gesichtsfeld des Doppelmikroskopes für die Ablesung des Horizontalkreises neben dem Indexstrich eine Unterteilung unter die Spitzen der Teilstrecke anzubringen, welche die normale Ablesung am Strichmikroskop gar nicht stört.

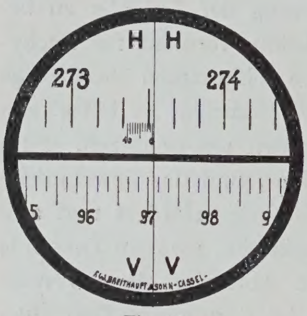


Fig. 13.

Für den Höhenkreis braucht man sogar kein weiteres Mikroskop anzubringen, oder höchstens ein Strichmikroskop. Da der Höhenkreis bei dem neuen Zeiss I wohl hauptsächlich für Tachymetrie angebaut ist, so ist dort die Ablesung in Sekunden nicht recht verständlich. Das ist so auffallend überflüssig für die gewöhnliche Vermessungspraxis, daß man es sich nur erklären kann aus dem Wunsche des Konstrukteurs, das Instrument für so viel Zwecke wie nur möglich anwendbar zu machen. Man wünscht zugleich ein Instrument von großer Genauigkeit und Wirtschaftlichkeit für alle Zweige der Vermessungskunde mit dem Erfolg, daß man eine Genauigkeit bekommt, die für die Zwecke der ersten Gruppe gerade nicht ausreicht, indem das Instrument nur wirtschaftlich ist für sehr besondere Zweige des Vermessungswesens und also auch keine universelle Lösung gibt für die zweite Aufgabe, die, meiner Ansicht nach, auch niemals in einem einzigen Typ zu lösen ist.

D. Vermessungen auf Forschungsreisen.

Es ist ohne weiteres klar, daß man mit dem neuen Theodoliten Zeiss I für diesen Zweck eine größere Genauigkeit erhält wie mit dem heutigen kleinen Reise-Universale. Diese sind besonders für diesen Zweck gebaut worden und sind darum auch noch kleiner und leichter. Wie gesagt, gibt die Nonienablesung bei dem geringen Kreisdurchmesser einen mittleren Fehler in der einzelnen horizontalen Richtung von ungefähr 8″, während man mit dem Zeiss 2″ bekommt. Nur für die astronomische Ortsbestimmung hat die gleiche Genauigkeit auf beiden Kreisen Bedeutung. Ich bemerke aber noch dazu, daß der Winkelwert der Höhenkreislibelle von rund 30″ schon darauf hinweist, daß auch der Konstrukteur auf die einzelnen Sekunden der Höhenkreisablesung gar keinen Wert legt. Daß die Höhenkreislibelle zu großen Winkelwert hat, oder die Ablesevorrichtung zu empfindlich ist, geht auch überzeugend aus den Angaben des Herrn Prof. O. Eggert hervor, der für die einzelne Bestimmung eines Zenits einen mittleren Fehler von 5″ findet [2]. Doch ist das Fehlen der Übereinstimmung dieser beiden Genauigkeiten meiner Ansicht nach ein konstruktiver Mangel.

Schon jetzt ist zu bewundern, daß es nicht nur gelingt, einzelne solche Instrumente herzustellen, sondern sie in Reihen anzufertigen. Für Forschungsreisen bleibt jedoch die Frage offen, ob die ziemlich komplizierte optische Einrichtung und der Spiegelbelag der Kreise sich halten. Die Praxis wird im Laufe der Zeiten die beste Antwort auf diese Frage geben. Augenblicklich, ohne Erfahrung, wäre es mir zu gewagt, die ganze Vermessungsarbeit einer Forschungsreise auf ein Instrument zu gründen, das man unterwegs unter keinen Umständen reparieren kann.

Literaturangaben:

[1] Dr. A. König, Der neue Zeiss-Theodolit. *Central-Zeitg. f. Opt. u. Mech. S. 151. 1924.*

[2] Prof. O. Eggert, Der neue Zeiss-Theodolit. *Zeitschr. f. Vermw. Heft 15 u. 16. S. 289. 1924.*

[3] Wunderwald, Der neue Zeiss-Theodolit. *Allgem. Verm.-Nachr. Nr. 29. S. 509. 1924.*

[4] Hk. J. Heuvelink, Bestimmung des regelmäßigen und des mittleren zufälligen Durchmesser-Teilungsfehlers bei Kreisen von Theodoliten und Universalinstrumenten. *Zeitschr. f. Vermw. S. 441—452. 1913.*

[5] Hk. J. Heuvelink, Die Prüfung von Kreisteilungen von Theodoliten und Universalen. Wird veröffentlicht in *dieser Zeitschr.*

[6] T. Polee, Het onderzoek van randverdeelingen bij astronomische en geodetische instrumenten usw. *Tijdschrift voor Kadaster en Landmeetkunde. 1917. S. 77.*

[7] W. Schermerhorn, Een nieuwe theodoliet voor den kadastralen dienst. *Tydschrift voor Kadaster en Landmeetkunde. 1924. Nr. 3.*

[8] Karl Lüdemann, Der Hildebrand-8-cm-Theodolit mit Schraubenmikroskopen und seine Verwendung bei Stadtvermessungen. *Diese Zeitschr.* ***43.*** *S. 145—161. 1923.*

Über ein den Empfindungsstufen des Auges tunlichst angepaßtes Photometer, Stufenphotometer genannt, und über seine Verwendung als Farbmesser, Trübungsmesser, Kolloidometer, Kolorimeter und Vergleichsmikroskop.

Von

Prof. Dr. phil. Dr. ing. h. c. **C. Pulfrich** in Jena.

(Mitteilung aus dem Zeiss-Werk, Jena.)

Ein Photometer, das in seinen Maßeinheiten den Empfindungsstufen des Auges vollkommen angepaßt ist, gibt es nicht und wird es niemals geben. Wilhelm Ostwald hat das Verdienst, als Erster ein solches Instrument angestrebt und bis zu einem gewissen Grad auch verwirklicht zu haben. Ich meine seine aus Pigmentfarben hergestellte und nach gleichen Empfindungsintervallen abgestufte Graureihe. Sie umfaßt in 24 mit den Buchstaben a, b, c ⋯ z bezeichneten Stufen alle Übergänge vom reinsten Weiß bis zum tiefsten Schwarz. An dem einen Ende der Skala steht die von zerstreutem Tageslicht beleuchtete, als Normalweiß dienende Barytweißplatte (Bariumsulfat), am anderen Ende das Schwarz eines tiefschwarzen Seidensamts. Zur Berechnung der einzelnen Stufen diente das Weber-Fechnersche Empfindungsgesetz. Nach diesem Gesetz steht ein eben noch wahrnehmbarer Helligkeitsunterschied innerhalb sehr weiter Grenzen der Helligkeit zu dieser in einem konstanten Verhältnis. Der gleichen Stufe der Empfindung entspricht also bei zunehmender Helligkeit ein immer größer werdender Helligkeitsunterschied[1]). Ordnen wir, wie Wilhelm Ostwald getan hat, die Helligkeiten nach gleichgroßen Intervallen ihrer logarithmischen Werte, so ist damit der Weg gewiesen, der zur Berechnung der Graureihe

	a	b	c ⋯⋯⋯⋯ x	y	z
$\log i =$	2,0	1,9	1,8 ⋯⋯⋯⋯ 0,8—1	0,7—1	0,6—1
$i =$	100 %	79,4 %	63,1 % ⋯⋯ 0,6 %	0,5 %	0,4 %

geführt hat. Die so hergestellte Graureihe hat in den Kreisen der Textilindustrie bereits eine ausgedehnte Nutzanwendung für die Messung des sog. Schwarz- und Weiß-

[1]) Ein eklatantes Beispiel hierfür zeigen die Erscheinungen am Polarisationsinstrument beim Übergang der beiden Nikols aus ihrer Kreuzstellung in die Parallelstellung. Man vergleiche meine diesbezüglichen Ausführungen in dem vor kurzem in *dieser Zeitschrift* ***44.*** *S. 261—270. 1924* veröffentlichten Aufsatz.

gehaltes grauer und bunter Kleiderstoffe nach dem von Wihelm Ostwald angegebenen Verfahren gefunden.

Aus eben diesen Kreisen bin ich darauf aufmerksam gemacht worden, daß es für die genannten Aufgaben wünschenswert sei, an Stelle der Graureihe eine optische Einrichtung zu haben, die die einzelnen Stufen der Graureihe und die dazwischen gelegenen Werte in eindeutiger Weise anzeigt, und außerdem in dem sog. dunkelklaren Gebiet der Kleiderstoffe eine größere Meßgenauigkeit gewährleistet, als die Graureihe zu bieten vermag. Aus dem Bestreben, diesen Wünschen gerecht zu werden, ist das nachstehend beschriebene Photometer hervorgegangen. Wir wollen es mit Rücksicht auf den vorliegenden Zweck, dem es in erster Linie dienen soll, Stufen-Photometer nennen. Auch habe ich mich bemüht, den Apparat mit Einrichtungen zu versehen, die ihn, wie in der Überschrift angegeben, für eine Reihe von anderweitigen Aufgaben verwendbar machen.

Ein erstes Versuchsinstrument dieser Art habe ich im Spätherbst 1923 in Leipzig und in Dresden einer Reihe von Personen, darunter auch Herrn Geheimrat Wilh. Ostwald vorgeführt. Es ist dann von der Firma C. Wolfrum, Mechanische Weberei, Färberei und Appretur in Aussig a. d. E. sofort in dauernde Benutzung genommen, und der damalige Betriebsleiter dieser Firma, Herr Ing. Fritz Linke, hat mir nach den bis jetzt gewonnenen Erfahrungen wiederholt erklärt[1]), daß mit dem Instrument das erstrebte Ziel als erreicht anzusehen sei und daß auch die Anwendbarkeit des Apparates als Vergleichs-Mikroskop für gewisse Aufgaben der Textilindustrie von Nutzen sei.

Auch über die Einrichtungen am Apparat, die ihn für die in der Überschrift genannten weiteren Verwendungszwecke dienstbar machen, konnte schon damals ein günstiges Urteil abgegeben werden. Nur die Einrichtung für nephelometrische und kolloidometrische Untersuchungen befriedigte mich noch nicht. Sie ist durch eine in der wischenzeit von mir ausgearbeitete Neueinrichtung ersetzt worden, die, wie mir scheint, vor der bisherigen und auch vor allen anderen optischen, dem gleichen Zweck dienenden Methoden den Vorzug voraus hat, daß bei ihr die Verschiedenheit der Färbung der beiden miteinander zu vergleichenden Felder, die bekanntlich die Genauigkeit der Messung in hohem Maße beeinträchtigt, praktisch so gut wie vollkommen in Wegfall gekommen ist.

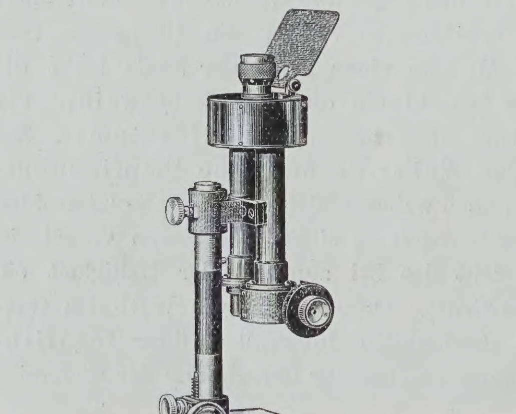


Fig. 1. Das Stufen-Photometer in seiner Anwendung als Farbmesser und zur Untersuchung von Papier-Vorlagen.

Das nunmehr in die Fabrikation aufgenommene Stufen-Photometer ist in Fig. 1 in seiner Ansicht und in Fig. 2 im Vertikalschnitt wiedergegeben. Die optischen Teile des Apparates sind die eines auf unendlich eingestellten monokularen Doppelfernrohres, mit einem 60 mm großen Achsenabstand der beiden Objektive O_1 und O_2 und einem auf die Trennungslinie T der beiden Okularpris-

[1]) Siehe auch das Referat über seinen in Reichenberg in Böhmen am 18. Dez. 1923 gehaltenen Vortrag in den *Mitt. d. allgem. Deutsch. Textilverb.* **6**, *S. 6 u. 7. 1923.*

men P_1 und P_2 einstellbaren Okular *Ok*. Die Justierung der einzelnen Teile ist so erfolgt, daß die über dem Okular frei in der Luft schwebenden reellen Bilder der beiden Objektive O_1 und O_2, die sog. Austrittspupillen der beiden Fernrohre, mit ihren Mitten genau zusammenfallen. Beim Einblick in das Okular werden dann diese beiden Bilder in gleicher Weise von der Pupille des Auges aufgenomman, und man sieht zwei in der scharfen Trennungslinie *T* aneinanderstoßende, von einer kreisförmigen Blende begrenzte Halbkreise, deren Helligkeitsverhältnis — eine gleichmäßige Beleuchtung der beiden Objektive vorausausgesetzt — allein abhängt von dem Verhältnis der wirksamen Objektivöffnungen.

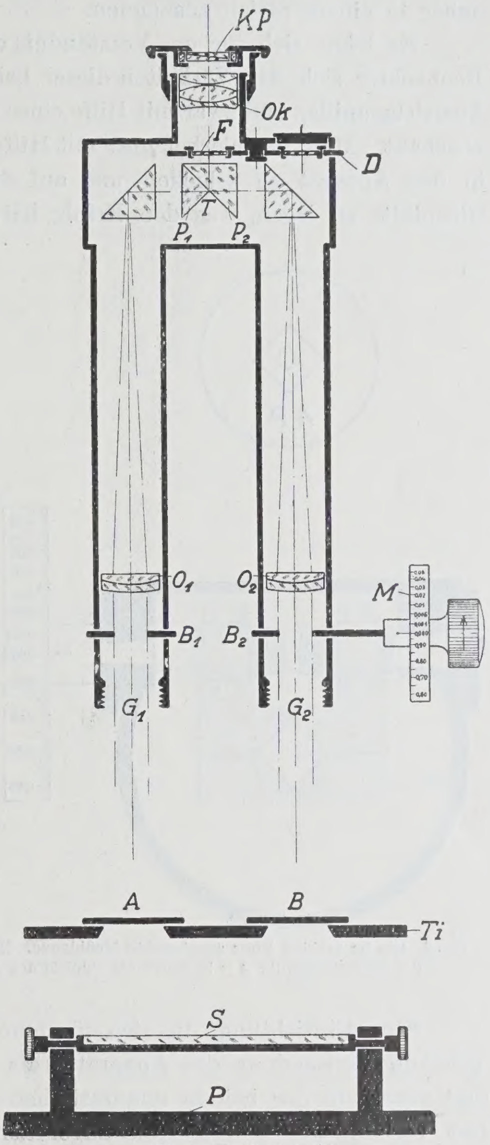


Fig. 2. Vertikalschnitt.

Um dem Apparat die Funktion eines Photometers zu geben, ist also nur nötig, eine Einrichtung am Apparat anzubringen, welche gestattet, das Verhältnis der beiden wirksamen Objektivöffnungen zwischen 1 und 0 meßbar abzuändern. Man kann das in verschiedener Weise tun. Die Einrichtung, die mir als die beste erschienen ist, ist folgende: Etwas unterhalb O_1 ist, zentrisch zur Mitte des Objektivs eine quadratische Öffnung (B_1 in Fig. 2) angebracht, deren Diagonale etwas kleiner ist als der Durchmesser des Objektivs und, in der Austrittspupille gemessen, nicht größer ist als $2^1/_2$ mm. Da die Pupille des Auges während des Einblicks in das Okular sehr viel weiter geöffnet ist als $2^1/_2$ mm, so ist damit erreicht, daß bei einem nur einigermaßen ruhig gehaltenen Kopf das Bild der quadratischen Öffnung in seiner ganzen Ausdehnung vom Auge des Beobachters aufgenommen wird. Auf der rechten Seite des Apparates, unterhalb O_2, ist ebenfalls eine quadratische Blende B_2 angebracht, deren Größe sich aber meßbar verändern läßt. Es geschieht dies durch zwei rechtwinkelig eingekerbte Spaltbacken (siehe Fig. 3), die mit einer Mikrometerschraube in der Richtung der Diagonale *d* des Quadrats aufeinander zu oder voneinander fort so bewegt werden, daß der Mittelpunkt der quadratischen Öffnung seinen Ort unverändert beibehält[1]). Für die Verstellung der Blende ist nur eine einzige Umdrehung der Meßschraube vorgesehen. Dabei ist die größte erreichbare Öffnung genau identisch mit der quadratischen Öffnung unterhalb 0_1, und die kleinste wird gleich Null genau

[1]) In letzter Zeit ist mir bei einer der Vorführungen des Photometers gesagt worden, daß diese Blendeneinrichtung an sich nichts neues darstelle. Sie sei in ophthalmologischen Kreisen unter dem Namen der Aubertschen Blende allgemein bekannt.

in dem Augenblick, in dem die Meßschraube ihre Drehung um 360° vollendet hat. Anfang und Ende der Trommelteilung — über diese siehe weiter unten — fallen daher in einem Strich zusammen.

Es lohnt sich für das Verständnis der Wirkungsweise des Photometers, wenn der Beobachter sich das Verhalten dieser beiden quadratischen Blenden zueinander in der Austrittspupille, und zwar mit Hilfe einer über das Okular gehaltenen Lupe, etwas näher anschaut. Man tut hierbei gut, mit Hilfe des Spiegels S das Licht des hellen Himmels in den Apparat zu schicken und auf die linke Seite des Objekttisches eine farbige Glasplatte zu legen, was den Erfolg hat, daß man die beiden mit ihren Mitten zusammenfallenden Bildchen der Quadrate bequem voneinander unterscheiden kann. Da die von den beiden Gesichtsfeldhälften kommenden Strahlen sich am Ort der Austrittspupillen kreuzen, von dort also wieder auseinandergehen, so befindet man sich beim Bewegen des Kopfes zur Seite mit dem Auge bald in dem einen, bald in dem anderen Strahlenkegel, so daß nur in einer bestimmten mittleren Lage des Auges die beiden Quadrate gleichzeitig sichtbar sind[1]). Dreht man jetzt an der Meßschraube, so sieht man bei Annäherung der Meßschraube an den Nullstrich der Trommelteilung das kleine quadratische Lichtpünktchen immer kleiner und kleiner werden und genau in dem Augenblick, in dem der Nullstrich erreicht ist, verschwinden.

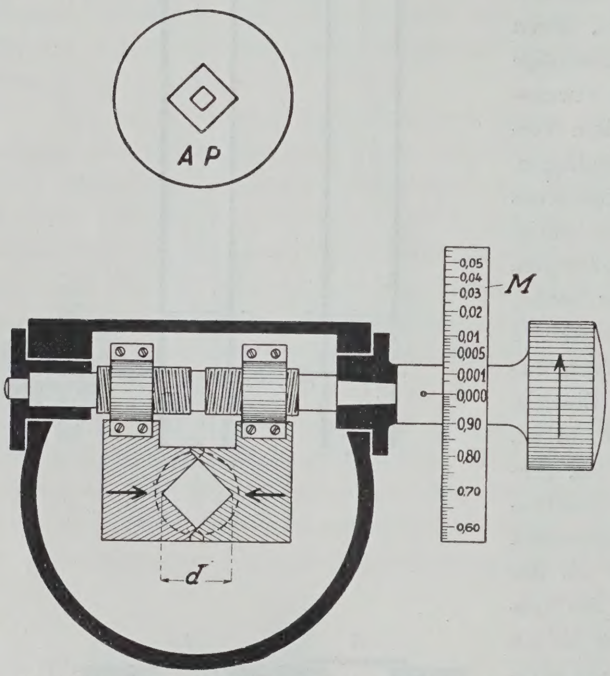


Fig. 3. Die im rechten Rohr angebrachte Meßblende. Der Kreis um die Austrittspupille AP bedeutet die Pupille des Auges.

Eine Einrichtung, die sich für eine über das zuerst gesteckte Ziel weit hinausgehende Verwendung des Apparates als überaus nützlich erwiesen hat, besteht darin daß unterhalb der beiden quadratischen Blenden beiderseits ein mit dem Photometer fest verbundener Rohrstutzen angebracht ist mit einem Gewinde am unteren Ende (G_1 und G_2 in Fig. 2), in das man nach Bedarf die weiter unten noch näher bezeichneten Hilfseinrichtungen einschrauben kann.

Unmittelbar unter dem Okular befindet sich eine Drehscheibe (D in Fig. 2) mit 8 Löchern. 7 dieser Löcher sind mit je einem Farbfilter versehen, das 8. bleibt frei. Im einzelnen siehe über diese Farbfilter weiter unten.

Zu Studienzwecken über optische Farbenmischung durch Doppelbrechung ist ferner ein auf das Okular aufsteckbares geradsichtiges Kalkspatprisma (KP in Fig. 2) dem Apparat beigegeben.

Die Berechnung der Trommelteilung für i. Wir bezeichnen die zwischen 0 und ihrem Maximalwert gelegene Diagonale der quadratischen Öffnung mit d, den

[1]) Neuerdings ist die Beobachtung der Austrittspupille dadurch wesentlich erleichtert worden, daß dem Photometer eine zum Aufsetzen auf das Okular eingerichtete Aufsatzlupe beigegeben ist.

zwischen 0 und 360° gelegenen Winkelwert der Trommelteilung mit α. Es ist dann der gesuchte Zusammenhang zwischen i, d und α gegeben durch die Gleichung:

$$i = \frac{1}{2} d^2 = \left(\frac{\alpha}{360}\right)^2 = 0 \text{ bis } 1 \quad \text{für } \alpha = 0 \text{ bis } 360^0. \qquad (1)$$

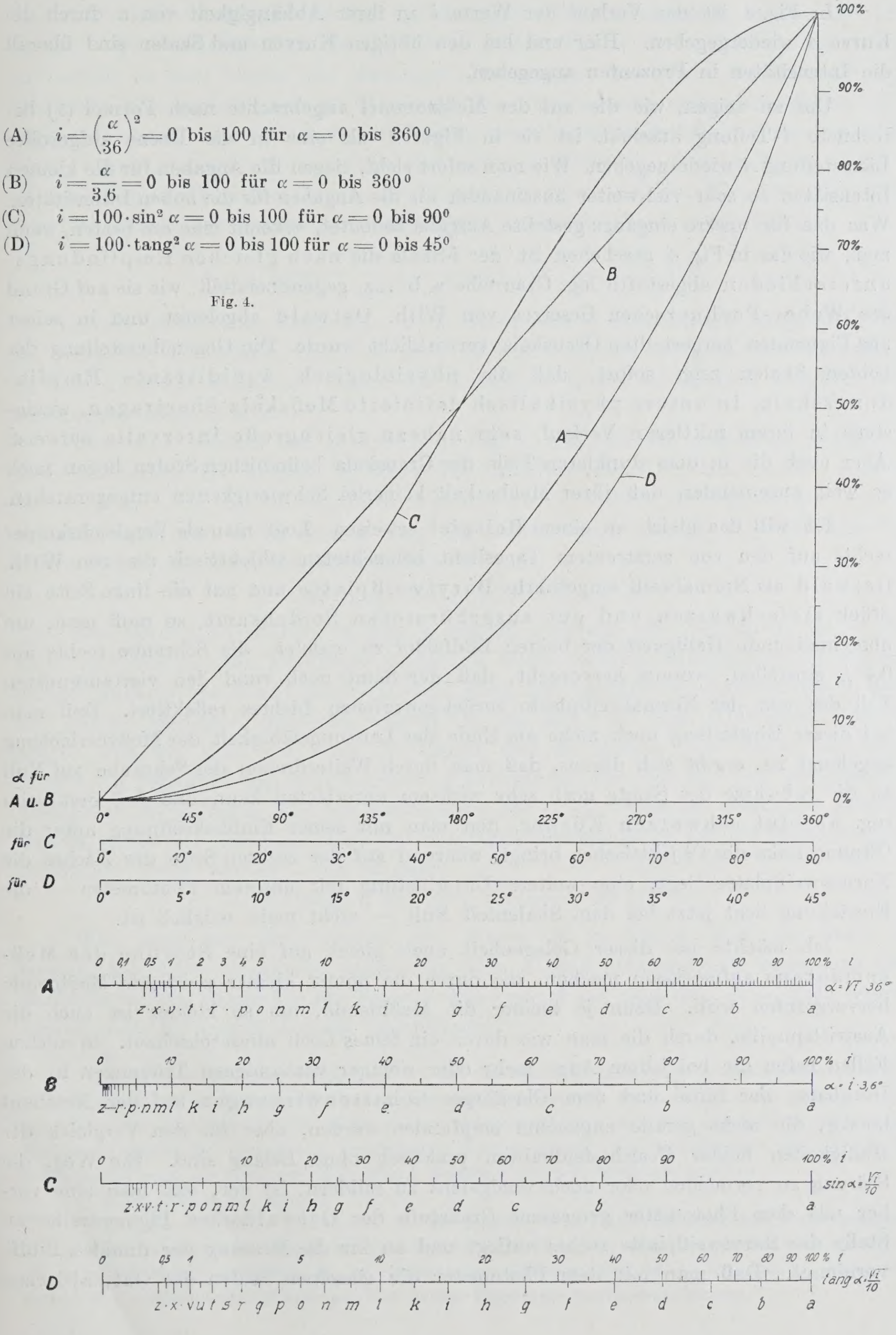
(A) $i = \left(\frac{\alpha}{36}\right)^2 = 0$ bis 100 für $\alpha = 0$ bis 360^0

(B) $i = \frac{\alpha}{3.6} = 0$ bis 100 für $\alpha = 0$ bis 360^0

(C) $i = 100 \cdot \sin^2 \alpha = 0$ bis 100 für $\alpha = 0$ bis 90^0

(D) $i = 100 \cdot \mathrm{tang}^2 \alpha = 0$ bis 100 für $\alpha = 0$ bis 45^0

Fig. 4.



Umgekehrt berechnet sich für eine gegebene Intensität i der zugehörige Winkelwert der Trommelteilung zu:

$$\alpha = \sqrt{i} \cdot 360^0 = 0 \text{ bis } 360^0 \quad \text{für } i = 0 \text{ bis } 1. \qquad (1a)$$

In Fig. 4 ist der Verlauf der Werte i in ihrer Abhängigkeit von α durch die Kurve A wiedergegeben. Hier und bei den übrigen Kurven und Skalen sind überall die Intensitäten in Prozenten angegeben.

Um zu zeigen, wie die auf der Meßtrommel angebrachte nach Formel (1) berechnete i-Teilung aussieht, ist sie in Figur 4 als eine in die Ebene aufgerollte Längsteilung A wiedergegeben. Wie man sofort sieht, liegen die Angaben für die kleinen Intensiäten so sehr viel weiter auseinander als die Angaben für die hohen Intensitäten. Was das für unsere eingangs gestellte Aufgabe bedeutet, erkennt man am besten, wenn man, wie das in Fig. 4 geschehen ist, der i-Skala die nach gleichen Empfindungsunterschieden abgestufte log. Graureihe a, b ... z, gegenüberstellt, wie sie auf Grund des Weber-Fechnerschen Gesetzes von Wilh. Ostwald abgeleitet und in seiner aus Pigmenten hergestellten Grauskala verwirklicht wurde. Die Gegenüberstellung der beiden Skalen zeigt sofort, daß die physiologisch äquidistante Empfindungsskala, in unsere physikalisch definierte Meßskala übertragen, wenigstens in ihrem mittleren Verlauf, sehr nahezu gleichgroße Intervalle aufweist. Aber auch die in dem dunkleren Teile der Grauskala befindlichen Stufen liegen noch so weit auseinander, daß ihrer Meßbarkeit keinerlei Schwierigkeiten entgegenstehen.

Ich will das gleich an einem Beispiel erweisen. Legt man als Vergleichskörper rechts auf den von zerstreutem Tageslicht beleuchteten Objekttisch die von Wilh. Ostwald als Normalweiß eingeführte Barytweißplatte und auf die linke Seite ein Stück tiefschwarzen und gut ausgebürsteten Seidensamt, so muß man, um übereinstimmde Helligkeit der beiden Bildfelder zu erzielen, die Schraube rechts auf 0,4 $^0/_0$ einstellen, woraus hervorgeht, daß der Samt noch rund den viertausendsten Teil des von der Normalweißplatte zurückgeworfenen Lichtes reflektiert. Daß man bei dieser Einstellung noch nicht am Ende der Leistungsfähigkeit der Meßvorrichtung angelangt ist, ergibt sich daraus, daß man durch Weiterdrehen der Schraube auf Null zu die Schwärze des Samts noch sehr wirksam unterbieten kann und daß erst beim sog. absolut schwarzen Körper, den man mit seiner Einblicksöffnung unter die Öffnung links des Objekttisches bringt, während auf der rechten Seite des Tisches die Normalweißplatte liegt, eine weitere Unterbietung mit unserem Photometer — die Einstellung liegt jetzt bei dem Skalenteil Null — nicht mehr möglich ist.

Ich möchte bei dieser Gelegenheit auch gleich auf eine Störung des Meßverfahrens aufmerksam machen, die durch die immer kleiner werdende Meßblende hervorgerufen wird. Denn je kleiner die Meßblende, um so kleiner ist auch die Austrittspupille, durch die man wie durch ein feines Loch hindurchschaut. In solchen Fällen rufen die bei jedem Auge mehr oder weniger vorhandenen Trübungen in der Hornhaut, der Linse und dem Glaskörper Schattenwirkungen auf der Netzhaut hervor, die nicht gerade angenehm empfunden werden, aber für den Vergleich der Helligkeiten beider Gesichtsfeldhälften praktisch ohne Belang sind. Ein Weg, die Störung zu vermeiden oder doch wenigstens zu mildern, ist der, daß man eine vorher mit dem Photometer gemessene Graustufe der Ostwaldschen Pigmentreihe an Stelle der Barytweißplatte rechts auflegt und an ihr die Messung der dunklen Stoffe vornimmt. Daß man mit dem Photometer die einzelnen Stufen der Ostwaldschen

Graureihe auch experimentell prüfen kann, braucht wohl nicht besonders hervorgehoben zu werden.

Wir wollen, ehe wir weitergehen, unsere Meßskala A in Fig. 4 noch mit den Meßskalen für einige andere photometrische Meßmethoden vergleichen und zusehen, wie sich diese Meßskalen zu der gleichstufigen Empfindungsskala a, b ... z verhalten. Was zunächst die Kurve B und die Skala B in Fig. 4 anbetrifft, so handelt es sich hierbei um diejenigen Photometer, bei denen die Messung der Helligkeit sich gründet auf die Messung der Spaltbreite einer rechteckigen Öffnung, die ihre Länge während der Messung unverändert beibehält, so wie das z. B. beim Vierordtschen Photometer und bei dem Wilhelm Ostwaldschen Halbschattenapparat (siehe Ostwalds Farbenlehre II, S. 81) der Fall ist. Die Art, wie hier infolge des geradlinigen Verlaufs der Intensitätskurve B in Fig. 4:

$$i = s \cdot \text{konst.} = \frac{\alpha}{360} = 0 \text{ bis } 1 \text{ für } \alpha = 0 \text{ bis } 360^0 \qquad (2)$$

die unteren Stufen der Grauskala in die Nähe von 0 zusammengedrängt sind, läßt es begreiflich erscheinen, daß die nach diesem Verfahren ausgeführten Messungen in dem in Frage stehenden Gebiet der Grauskala keinen allzugroßen Anspruch auf Genauigkeit machen können[1]).

Über den Verlauf der Kurve C in Fig. 4 und die ihr zugehörige Skala C habe ich bereits vor kurzem in dieser Zeitschrift berichtet[2]). Hier handelt es sich um die von zwei hintereinander befindlichen Nikols durchgelassenen Lichtmengen, wenn man durch Drehen eines der beiden Nikols von der Kreuzstellung der beiden Nikols zur Parallelstellung übergeht:

$$i = \sin^2 \alpha = 0 \text{ bis } 1 \text{ für } \alpha = 0 \text{ bis } 90^0. \qquad (3)$$

Die Kurve D endlich in Fig. 4 bezieht sich auf alle Verfahren, bei denen zwei nebeneinander gelegene ungleich helle Felder, die senkrecht zueinander polarisiert sind, durch Drehen eines am Okularende angebrachten Nikols auf gleiche Helligkeit gebracht werden, so wie das z. B. beim Glanschen Photometer und bei dem vor etwa 30 Jahren von der Firma Carl Zeiss für Prof. E. Hering gebauten sog. Heringschen Photometer der Fall ist. Der zur Messung verfügbare Winkelraum, von der Auslöschung des einen Teiles an gerechnet, beträgt hierbei, unter der Voraussetzung, daß das Helligkeitsverhältnis auf die Werte 0 bis 1 beschränkt bleibt, nur 45^0. Es ist dann:

$$i = \text{tang}^2 \alpha = 0 \text{ bis } 1 \text{ für } \alpha = 0 \text{ bis } 45^0. \qquad (4)$$

Wie man aus den Verlauf der Kurve D in Fig. 4 und der Skala D ersieht, hat diese Anordnung sogar eine über A noch hinausgehende Anpassung der Meßskala an die Graureihe zur Folge[3]). Die Versuchung liegt also nahe, auch diesen Vorteil noch für unsere Aufgabe auszuwerten.

---

[1]) In Erkenntnis dieser Dinge habe ich bei den von mir konstruierten und in meiner Schrift „Die Stereoskopie im Dienste der Photometrie und Pyrometrie", Berlin 1923, *S. 54* u. *f.* beschriebenen Stereophotometer für spektralunzerlegtes Licht die dort angebrachte rechteckige Meßblende durch die vorliegende quadratische Blende ersetzt. Selbstverständlich hat hierbei die Meßtrommel auch die neue mit A in Fig. 4 übereinstimmende Meßskala erhalten.

[2]) Siehe oben S. 35, Anm. 1.

[3]) Daß das Glansche Photometer für die Messung sehr starker Absorptionen, also geringer Helligkeiten, sehr gut brauchbar und insonderheit dem Vierordtschen Photometer weit überlegen ist, habe ich bereits in meiner Bonner Doktorarbeit *(Wiedem. Ann.* ***14.*** *S. 178. Anm. 1. 1881)* auf Grund von vergleichenden Messungen mit beiden Apparaten nachweisen können.

Die Sache hätte sich mit unserem Apparat auch leicht verwirklichen lassen und zwar in der Weise, daß man die unterhalb der beiden quadratischen Blenden vorgesehenen Rohrstutzen mit den Anschraubgewinden G_1 und G_2 dazu benutzt, links und rechts je einen Polarisator in Fassung anzubringen. Stellt man dann diese beiden Polarisatoren so zueinander, daß ihre Durchlaßrichtungen senkrecht zueinander sehen, und gibt man ferner der quadratischen Öffnung rechts die gleiche Größe wie der Öffnung links — Einstellung auf den Skalenteil 100 —, so wäre im Sinne der vorliegenden Methode nur noch ein Analysator mit Teilkreis über dem Okular anzubringen, um den Apparat auch für diese Art Messung geeignet zu machen. Aber selbst unter Würdigung der angegebenen prinzipiellen Überlegenheit dieser Methode bin ich nicht in der Lage, sie für obige Zwecke zu empfehlen. Denn unser Verfahren ist nicht nur einfacher, es hat auch den Nikols gegenüber den Vorteil, daß die erreichbare Verdunkelung des Gesichtsfeldes erst bei der Schwärze des absolut schwarzen Körpers haltmacht, was meines Erachtens mit Nikols aus verschiedenen Gründen nicht zu erreichen ist.

Wir wollen jetzt die verschiedenen Anwendunggebiete des Photometers durchgehen und hierbei auch die Hilfseinrichtungen kennen lernen, die dazu erforderlich sind.

Ich beginne mit denjenigen Anwendungen, für die das Photometer von vornherein nicht bestimmt war, die sich aber, zum Teil infolge der Anbringung der oben erwähnten Gewinde G_1 und G_2 in Fig. 2, beim Gebrauch des Apparates ganz von selbst ergaben.

A. Verwendung des Apparates als Kolorimeter, Vergleichsmikroskop und Mikrophotometer.

Für die Verwendung des Apparates als Kolorimeter sind dem Apparat beigegeben: vier zylindrische Absorptions-Glasgefäße von 1, 5, 10 und 20 mm Höhe, die dazugehörigen Deckglasplatten und in einer etwas vergrößerten, den Dimensionen der quadratischen Blenden B_1 und B_2 angepaßten Ausführung das vom Vergleichsspektroskop her bekannte Absorptionsgefäß mit meßbar veränderlicher Dicke der Flüssigkeitsschicht. Die Versuchsanordnung ist aus Fig. 5 zu ersehen. Die Meßvorrichtung am Photometer wird hierbei durch Einstellung der Trommel auf den Skalenteil 100 ausgeschaltet. An ihre Stelle tritt die in ihrer Höhe verstellbare Flüssigkeitsschicht. Beleuchtet wird entweder durch den Spiegel unter dem Objekttisch oder, da dieser zum Aushängen eingerichtet ist, durch zwei auf den Boden des Apparates gelegte durch Tageslicht beleuchtete Barytweißplatten. In dieser Anordnung erscheint das Instrument für Konzentrationsmessungen und für den Nachweis der beim Verdünnen gewisser

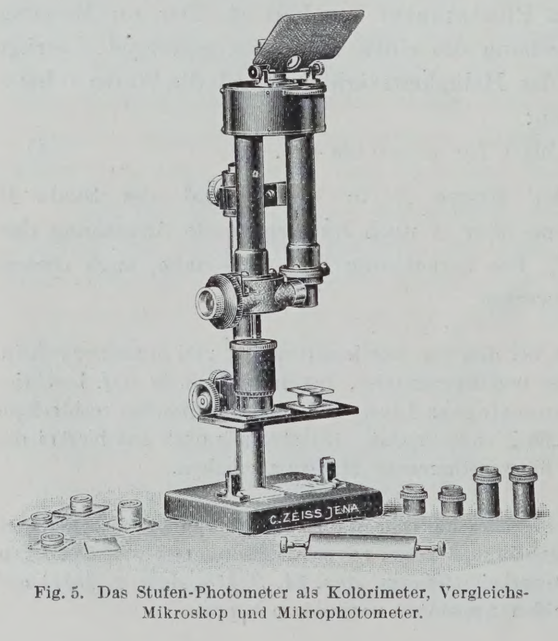


Fig. 5. Das Stufen-Photometer als Kolorimeter, Vergleichs-Mikroskop und Mikrophotometer.

farbiger Flüssigkeiten auftretenden chemischen Vorgänge wohl geeignet. Für den Fall, daß dem Beobachter die von Lovibond seinem Tintometer[1]) beigegebenen schönen Farbglasfilter-Serien zur Verfügung stehen, kann das Instrument an Stelle des äußerst primitiven Tintometers ohne weiteres auch zu tintometrischen Messungen im Sinne der Lovibondschen Methode benutzt werden.

Die Verwendung des Apparates als Vergleichsmikroskop gründet sich auf die Ausrüstung des Apparates mit Mikroskop-Objektiven, die einfach in die Gewinde G_1 und G_2 eingeschraubt werden. Es sind zwei Paar Objektive dem Apparat beigegeben. Das eine Paar hat die Brennweite 80 mm, das andere die Brennweite 30 mm. Die Mikroskopvergrößerung ist in dem einen Falle eine 15fache, in dem anderen eine 45fache. Die Scharfeinstellung erfolgt für links und rechts gleichzeitig durch Änderung der Höhenlage des Objekttisches mittels Zahn und Trieb.

Nur zwei Anwendungen des so eingerichteten Vergleichsmikroskops seien hier namhaft gemacht: der Vergleich von Tuchproben in der Textilindustrie in bezug auf die Beschaffenheit des Gewebes und die Verwendung des Apparates für polizeiliche Zwecke: Untersuchung von Schriftzeichen zum Zwecke der Auffindung von Fälschungen[2]), Vergleich von Fingerabdrücken und dergleichen.

Durch die Ausrüstung des Photometers mit den beiden Mikroskop-Objektiven ist es möglich geworden, den Apparat auch als Mikrophotometer, d. h. zur photometrischen Messung solcher Objekte — photographische Präparate, Sternbilder u. dgl. — zu verwenden, die eine im Vergleich zur quadratischen Blende nur geringe Flächenausdehnung besitzen. Man legt das zu untersuchende Präparat auf die linke Seite des Objekttisches, beleuchtet von unten entweder durch Tageslicht mit Hilfe des Spiegels S oder nach Beseitigung des Spiegels durch eine von Tageslicht beleuchtete Barytweißplatte und bringt dann das Präparat durch seitliche Verschiebung in eine solche Lage, daß sein Bild in die Mitte des Gesichtsfeldes zu liegen kommt und von der Trennungslinie halbiert wird. Die Messung selbst geschieht wieder durch Vergleich mit einer rechts aufgelegten Barytweißplatte.

Die beiden Mikroskop-Objektive $f = 30$ mm dienen noch einem anderen Zweck, dem der Farbtonbestimmung nach einem neuen Verfahren, über der weiter unten unter C das nähere angegeben ist.

B. Verwendung des Photometers für nephelometrische und kolloidometrische Messungen an trüben Flüssigkeiten und kolloidalen Lösungen.

Die hierfür erforderlichen Hilfseinrichtungen, welche dem Photometer beigegeben sind, können auch zur Messung der Fluoreszenzwirkung fluoreszierender Flüssigkeiten benutzt werden.

Bisher hat man bei derartigen photometrischen Unsersuchungen das von der Flüssigkeit ausgestrahlte Licht verglichen entweder mit der erregenden Lichtquelle, oder mit dem ausgestrahlten Licht einer anderen von derselben Lichtquelle bestrahlten Flüssigkeit, die dann als Normalflüssigkeit angesehen wird. Der Nachteil hierbei ist der, daß die miteinander zu vergleichenden Felder im Gesichtsfeld des Photometers nur sehr selten die gleiche Färbung erkennen lassen, so daß in der Mehrzahl aller

---

[1]) *Measurement of light and colour sensations by J. W. Lovibond, London 1905.*

[2]) Siehe dieserhalb das von Dr. H. Schneickert in deutscher Bearbeitung herausgegebene Buch von A. S. Osborn „Der technische Nachweis von Schriftfälschungen", Halle 1921.

Fälle an eine genaue Einstellung auf gleiche Helligkeit ohne Zuhilfenahme von passend gewählten Farbfiltern nicht gedacht werden kann.

Nun aber bietet sich, wie ich gefunden habe, und wie ich schon in der Einleitung andeutete, die Möglichkeit, die Schwierigkeit des Vergleichs ungleich gefärbter Felder auch ohne Verwendung von Farbfiltern zu vermeiden, und zwar dadurch, daß man zwei Stellen der zu untersuchenden Flüssigkeit auswählt, die verschieden weit von der Eintrittsstelle des erregenden Lichtes in die Flüssigkeit abstehen und daß man dann diese beiden Stellen in bezug auf ihr Strahlungsvermögen miteinander vergleicht.

Die Versuche, die bisher an trüben und fluoreszierenden Flüssigkeiten und kolloidalen Lösungen ausgeführt wurden, haben ergeben, daß zwar bei jeder Flüssigkeit die Färbung eine etwas andere ist, daß aber beiderseits jedesmal die gleiche Färbung besteht, also Unterschiede nur hinsichtlich der Helligkeit auftreten.

(Fortsetzung folgt.)

Winddruck- und Windrichtungsanzeiger mit elektrischer Übertragung.

Von

E. Becker in Berlin-Steglitz.

(Mitteilung aus den Werkstätten R. Fuess in Berlin-Steglitz.)

Bis in jüngster Zeit war es üblich, Windmessung mit Bezug auf Richtung und Geschwindigkeit derart auszuführen, daß mit getrennten Meßinstrumenten gearbeitet wurde, d. h. die Windrichtung wurde mit einer Windfahne, und die Windgeschwindigkeit mit einem kleinen Schalenkreuzanemometer ermittelt. Die Konstruktion dieser Apparate machte es aber notwendig, in Fällen höherer Anforderung an Meßgenauigkeit die Arbeiten auf besonders hierfür geeignet vorbereiteten Gebäuden, Türmen vorzunehmen, jedenfalls aber doch die Messungen in solchen Höhen über dem Erdboden auszuführen, wo die Instrumente nicht im Windschatten benachbarter Gebäude oder Baumgruppen liegen. In besonders schwierigen Fällen versah man wohl die Anemometer mit einem, nach einem bestimmten Windweg in m/sec in Tätigkeit tretenden elektrischen Kontakt und führte die elektrischen Leitungen zu anzeigenden Apparaten an Orten bequemeren Ablesens. Bei der Übertragung der Windrichtung dagegen traten schon etwas größere Schwierigkeiten ein; vor allem aber gab es kein einfaches und bequem abzulesendes Meßgerät für Richtung und Geschwindigkeit.

Wohl erstand aus der Zusammenarbeit zwischen A. Sprung und R. Fueß im Jahre 1889 der elektrisch registrierende Anemograph Sprung-Fueß[1]), welcher für meteorologische Beobachtungen von großem Werte ist und auch eine große Verbreitung gefunden hat. Immerhin bleibt aber seine Anwendung, mit wenigen Ausnahmen, auf meteorologische Hauptstationen beschränkt. Die hauptsächlichsten Merkmale dieses Instrumentes, mit Bezug auf das Zustandekommen der Registrierung, sind: Das Auftragen von Windgeschwindigkeit und Windrichtung geschieht auf einem Papierband (Fig. 1) und zwar so, daß die zeitliche Zusammengehörigkeit der beiden Aufzeichnungen eindeutig bestimmbar wird und sowohl die Kurven für die Geschwindigkeit als auch die Markierung der Richtung schon während der Niederschrift Schlüsse auf den Windcharakter zulassen. Die Registrierung kommt in der Weise zustande, daß vom Schalenkreuz nach je 500 m Windweg ein elektrischer Kontakt für einen kurzen Augenblick

---

[1]) A. Sprung und R. Fueß, *diese Zeitschrift* **9.** *S. 91. 1889.*

geschlossen und dadurch das Papierband um rd. 0,5 mm weiterbewegt wird. Da die Schreibfeder für die Windgeschwindigkeit aber von der Betriebsuhr proportional der Zeit quer zur Längsbewegung über das Papierband geführt wird, so entsteht aus beiden Bewegungen eine diagonal verlaufende und je nach Windstärke mehr oder weniger steil verlaufende Linie (s. Fig. 1). Am Ende jeder Stunde wird die Schreibfeder schnell zurückgeführt, und das Spiel beginnt von neuem. Da die Häufigkeit der Kontakte von der Windgeschwindigkeit abhängig ist, so kann man aus dem verschieden großen Abstand der Querlinien (Stundenlinien) auf die Windstärke schließen. Zum genaueren Ausmessen der Kurven bedient man sich natürlich eines besonderen Glasmaßstabes. Die Aufzeichnung der Windrichtung dagegen kommt dadurch zustande, daß derselbe Stromlauf, welcher die Geschwindigkeit aufzeichnet, gleichzeitig von dem Kontaktapparat der Windfahne über Metallquadranten geleitet wird, welche durch vier Leitungen mit ebenso vielen Schreibelektromagneten verbunden sind. Je nach Windrichtung spricht nun bei den vier Hauptwindrichtungen der Magnet N.E.S. oder W an. Bei den Zwischenrichtungen z. B. NE oder NW treten gleichzeitig die betreffenden benachbarten Schreibmagnete in Tätigkeit.

Es ist natürlich, daß dieser Anemograph für manchen Freund meteorologischer Beobachtungen zu teuer sein wird. Außerdem darf man mit Sicherheit darauf schließen, daß es in vielen Fällen genügen wird, Windstärke und Windrichtung zu beliebiger Zeit nur ablesen zu können, ohne zu diesem Zwecke erst einen Turm besteigen zu müssen, abgesehen von der Unmöglichkeit, nachts die Stellung einer Windfahne ablesen zu können.

Aus dieser Betrachtung heraus entstand der Windgeschwindigkeits- und Windrichtungsanzeiger mit elektrischer Übertragung. Die Fig. 2 und 3 zeigen eine Ausführungsform dieses Apparates, während Fig. 4 den Stromverlauf darstellt. Aus Gründen der Einfachheit ist hier ein Schalenkreuz als Meßorgan nicht zur Anwendung gekommen. Vielmehr wird eine Winddrucktafel D benutzt, um die Windgeschwindigkeit bzw. die Windstärke anzuzeigen. Da die Beziehungen zwischen Windgeschwindigkeit und Winddruck festliegen, so dürfte es unbedenklich erscheinen, die Geschwindigkeit aus den Angaben der Drucktafel nach der Formel

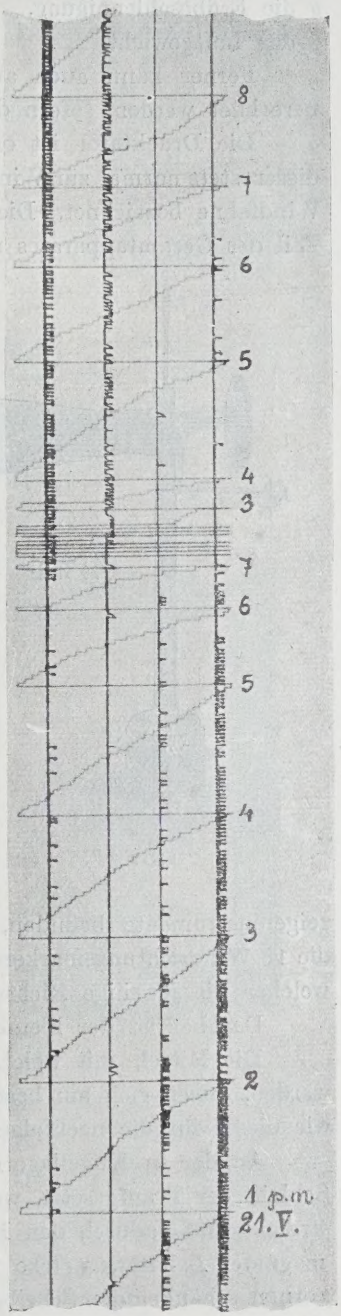


Fig. 1.

$$v = \sqrt{\frac{2g \cdot h}{\gamma}} \qquad 1)$$

abzuleiten.

Es bedeuten:
v die gesuchte Geschwindigkeit in m/sec,
h der Geschwindigkeitsdruck in mm WS,
g die Erdbeschleunigung,
γ das Luftgewicht.

Ferner kann auch aus den Angaben des Apparates der Winddruck in kg/m² berechnet werden, sofern die Größe der Drucktafel D in m² bekannt ist.

Die Drucktafel ist organisch mit der Windfahne F verbunden und wird von dieser stets normal zur Windrichtung eingestellt. Mit G ist das Gegengewicht für die Windfahne bezeichnet. Dieser aus Drucktafel, Windfahne und Gehäuse B bestehende Teil des Gesamtapparates muß auf einem Gebäude (Dach, Turm, Mast) so hoch über benachbarten Bauwerken aufgestellt werden, daß er außerhalb des Windschattens derselben liegt. Das „Zeigerinstrument", wie in Fig. 3 dargestellt, kann in beliebiger Entfernung vom Oberteil aufgestellt werden; es besteht aus einem runden Holzgehäuse, das an seiner Vorderseite eine geschwärzte Glasscheibe trägt. An den Stellen der Glasscheibe, hinter welchen sich die Zeiger und Skalen der Anzeigeninstrumente befinden, ist die Schwärzung entfernt. Wir sehen im unteren Feld die 16 Windrichtungsmarken mit den Buchstaben N, E, S, W und auch den Zeiger Z, welcher die jeweilige Richtung angibt.

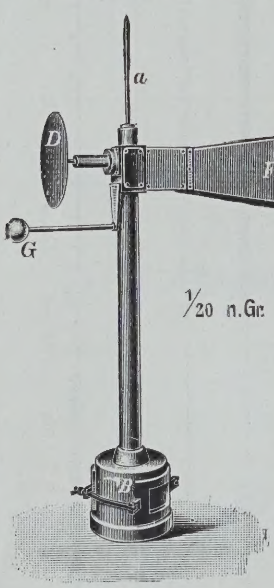


Fig. 2.

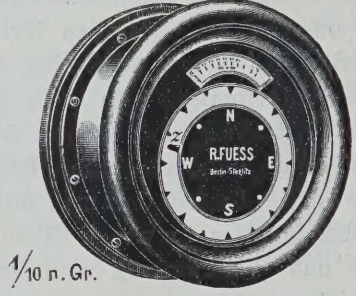


Fig. 3.

Darüber ist der kleine bogenförmige Ausschnitt für die Druckskala angebracht.

Die Mittel, mit welchen Richtung und Geschwindigkeit zur Anzeige gebracht werden, lassen sich am besten an Hand des Schemas Fig. 4 klar machen und wollen wir dieses für die nachfolgenden Ausführungen zugrunde legen.

An der in Kugellagern geführten Fahnenaxe N ist nahe am unteren Ende eine Schleiffeder T aufgesetzt, welche beim Drehen der Fahne GF die acht Lamellen R bestreicht und dadurch den Betriebsstrom zu je einem oder zwei benachbarten Elektromagneten E leitet, welche ihrerseits einen, über den im Kreise angeordneten Eisenkernen, schaukelnden Scheibenanker anziehen und den mit diesem gelenkig verbundenen Richtungsanzeiger Z (Fig. 3) auf die betreffende Richtungsmarke zum Einspielen bringen. Werden gleichzeitig zwei benachbarte Elektromagnete erregt, so stellt sich auch der Scheibenanker dementsprechend ein, wodurch dann die Zwischenrichtungen NE, SE usw. zur Anzeige kommen. Wie schon erwähnt, trägt das Zifferblatt aber 16 Richtungsmarken. Um nun diese richtig anzeigen zu können, ist an der Kontaktfeder T nach beiden Drehrichtungen hin noch ein besonderer Widerstand abgezweigt, aber in der

Figur nicht dargestellt, welcher bei bestimmten Stellungen der Fahne z. B. NNE, ENE usw. in Tätigkeit tritt und zwar so, daß der Magnetismus der Hauptmagnete N, E, S, W so stark geschwächt wird, daß sich der Scheibenanker nicht auf Zwischenrichtung NE, sondern NNE oder ENE einstellt und so fort auch bei den anderen Richtungen. Wir kommen also bei 16 Richtungen mit 8 Leitungen bzw. 8 Elektromagneten aus.

Während die Übertragung der Windrichtung mit einfachsten elektrotechnischen Mitteln durchführbar ist, macht die sinngemäße Fernanzeige des Winddruckes einige Schwierigkeit und zwar nicht lediglich elektrotechnischer Natur.

Vor allem sind die Beziehungen zwischen Winddruck und Windgeschwindigkeit nicht so ganz einfach definiert. Wohl wird gesagt, daß der Winddruck einfach proportional sei dem Quadrat der Geschwindigkeit. Versucht man nun aber nach der Formel

$$p = \frac{v^2 \cdot \gamma}{2g}$$

eine Apparatkonstruktion durchzuführen, so stößt man auf nicht unerhebliche Schwierigkeiten insofern nämlich, als bei einer bestimmten Größe der Drucktafel D (Fig. 2 und 4) der auf D wirkende und in kg/cm² ausdrückbare Winddruck bei doppelter Geschwindigkeit nicht um das Vierfache wächst, sondern nicht unerheblich hinter dieser Zahl zurück bleibt. Die Ursache dieser Erscheinung liegt darin, daß sich vor der Drucktafel ein Stauhügel verdichteter Luft bildet, der gewissermaßen ein Polster bildet an welchem die senkrecht zur Drucktafel fließenden „Luftfäden" von ihrer bisherigen Richtung abgelenkt und seitlich zum Abfließen gebracht werden, ohne ihre Energie ganz an die Tafel abgegeben zu haben. Da es nun nicht möglich ist, mit einfachen technischen Mitteln etwa durch eine selbsttätige Vergrößerung der Tafel das Druckdefizit auszugleichen, so wird versucht, durch zweckentsprechende Formgebung der Gegenfeder *O* diese geeignet zu machen, das Druckdefizit selbsttätig zu verbessern. Der betreffende Beiwert wird durch Versuche ermittelt.

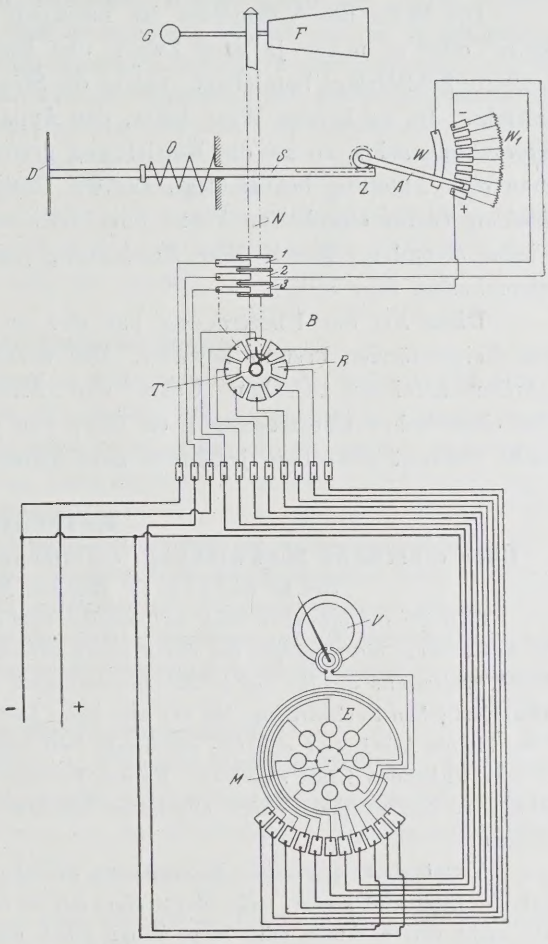


Fig. 4.

Am hinteren Ende der die Tafel tragenden Druckstange *S* ist eine Zahnstange *Z* angesetzt, welche einen doppelpoligen Kontaktarm *A*, den verschiedenen Stellungen der Drucktafel entsprechend, auf den Widerstandslamellen W hin- und herschiebt und dabei mehr oder weniger Einzelwindungen eines Drahtwiderstandes W^1 zu- oder abschaltet.

Dieser Widerstand steht während der Ablesung unter Strom, und ist er so bemessen, daß die Stromstärke nur etwa 0,05 A beträgt. Vom Kontaktarm *W* führt eine Leitung unmittelbar zu einem Voltmeter *V* im Anzeigeapparat. Dieses wird nun je nach Stellung des Kontaktarmes nicht den vollen Betrag der Spannung anzeigen, sondern einen Teil derselben, und zwar den, welcher dem zwischen Kontaktarm *A* und dem x-Pol liegenden Teilwiderstand entspricht.

Die Skala des Voltmeters ist natürlich nicht in „Volt" eingeteilt, sondern in kg/m² oder in m/sec je nach Zweck und Bedarf. Mit 1 2 3 sind drei voneinander isolierte Schleifringe bezeichnet, welche die Stromführung zum Widerstandsapparat vermitteln. Da es keinen Wert hätte, den Apparat dauernd unter Strom zu halten, ganz besonders nachts, so ist die Einrichtung getroffen, daß man erst im Augenblick, wo man eine Ablesung beabsichtigt, für die Dauer der Ablesung den Strom durch einen kleinen Taster einschalten kann; nach Loslassen des Tasters wird die ganze Anlage wieder stromlos. Durch diese Einrichtung gestaltet sich der Betrieb mit Bezug auf Stromkosten sehr billig.

Diese Art der Übertragung hat sich in allen Fällen elektrischer Übertragung von Zeigerständen bestens bewährt. Der wesentliche Vorzug liegt eben darin, daß ein „Außertaktfallen" zwischen „Geber" und „Anzeiger" niemals eintreten kann. Ob diese Art elektrischer Übertragung auch schon von anderer Seite angewendet wurde, ist mir nicht bekannt geworden, jedenfalls aber benutzte ich sie seit 1902.

Referate.

Über elastische Nachwirkung, elastische Hysteresis und innere Reibung.

Von K. Bennewitz. *Physikal. Zeitschr.* ***25.*** *S. 417. 1924.*

Obgleich die Literatur reich an Theorien über die elastische Nachwirkung ist, fehlte es doch an Ausdrücken, die einerseits die damit zusammenhängenden Erscheinungen in großen Zügen umfassen, andrerseits die für den praktischen Gebrauch nötige Einfachheit besitzen. Für den Fall der ideal-elastischen Nachwirkung, bei der also keine Dauerdeformation auftritt, hatte Verf. bereits in einer älteren Arbeit eine einfache empirische Beziehung zwischen der Deformation und der auf den Körper wirkenden Kraft abgeleitet. Neuere Versuche haben die Brauchbarkeit der Gleichung bestätigt, so daß nunmehr einige allgemeine Schlüsse gezogen und experimentell bestätigt werden konnten.

Vermöge der elastischen Nachwirkung wachsen bekanntlich die Deformationen, auch innerhalb der Elastizitätsgrenze, mehr oder weniger mit der Zeit der Krafteinwirkung. Durch Beschränkung auf nicht extrem kurze oder large Zeiten erhält die Gleichung für die zeitlichen elastischen Erscheinungen zwei Materialkonstanten β und γ, die als „Konstanten der elastischen Nachwirkung" bezeichnet werden, und deren Produkt dem Elastizitätsmodul reziprok ist. Der den Begriff Elastizität keineswegs erschöpfende Elastizitätsmodul wird also in zwei Konstante zerlegt, die die elastischen Eigenschaften der Körper weit umfassender darstellen. Unterwirft man einen Körper einem zwischen zwei Werten hin und her gehenden Zwang, so ist die Deformation für denselben Wert des Zwanges größer, wenn dieser im Abnehmen als wenn er im Zunehmen begriffen ist. Die so entstehende „Deformationsschleife" beruht z. T. auf elastischer Nachwirkung, z. T. auf elastischer Hysterese. Die Gleichung wird nun weiter auf die Fälle einer linear-periodischen — also einer linearen mit der Zeit anwachsenden — Kraft und einer harmonisch wirkenden Kraft angewandt, wie sie etwa vorliegt, wenn ein aus der Ruhelage gebrachtes und sich selbst überlassenes System in gedämpft harmonische Schwingungen gerät. In beiden Fällen wird eine Hysteresisschleife erhalten, welche die für eine Hysteresis charakteristischen Eigenschaften erfüllt: Inhalt und Form der Schleife nähern sich asymptotisch einer Grenzkurve; der Inhalt hat seinen Grenzwert bereits nach wenigen Zyklen praktisch erreicht. Spezifische Hysteresisbreite und Inhalt der Schleife sind von der Dauer der Periode unabhängig.

Ferner wird festgestellt: Der Quotient aus verlorener Energie und gesamtem Energieumsatz ist bei einem Zyklus durch die Nachwirkungskonstante γ eindeutig festgelegt und ihr umgekehrt proportional. Er ist unabhängig vom Formfaktor, d. h. von der durch die Form des Körpers bedingten Konstanten und von der Dauer der Periode. Die spezifische Hysteresisbreite ist ebenso wie der Schleifeninhalt allein Funktion von β.

Für die selbständige elastische Schwingung eines nachwirkenden Systems wird eine Beziehung zwischen dem logarithmischen Dekrement der Schwingung und der Konstante γ aufgestellt, die die durch Prüfung bestätigte Annahme enthält, daß die Dämpfung lediglich von der elastischen Nachwirkung herrührt. Die innere Dämpfung eines elastischen Systems ist also vollständig durch die ideale Nachwirkung veranlaßt. Dies Ergebnis steht in Widerspruch mit den Untersuchungen von Warburg und Heuse, die zu dem Schluß kommen, daß der Inhalt der Hysteresisschleife nur zu einem geringen Bruchteil durch die ideale Nachwirkung bedingt sei, der größere Teil auf etwas anderes, etwa auf innere Reibung, zurückgeführt werden müsse.

Zur Erklärung der Nachwirkungserscheinungen wird nicht, wie üblich, innere Reibung, sondern eine innere Sublimation angenommen, wodurch Nachwirkung, Hysteresis und innere Reibung auf den einen Vorgang der Rekristallisation zurückgeführt werden.

Wr.

Vergleichende Geräuschmessung.

Von K. Küpfmüller. *Wissenschaftl. Veröffentl. a. d. Siemens-Konzern.* **3.** *Heft 2. S. 153. 1924.*

In Fernsprechleitungen, die in der Nähe von Starkstromanlagen verlaufen, treten infolge der in den Starkstromleitungen stets vorhandenen Oberschwingungen, die im Frequenzgebiet der hörbaren Töne liegen, jedoch im allgemeinen nicht durchweg harmonisch zur Grundschwingung sind, störende, brummende oder heulende Geräusche auf. Verf. beschreibt ein Verfahren zu ihrer Messung, das auf der subjektiven Vergleichung des Geräusches mit einem Normalton der Kreisfrequenz 5000 — von einem Summer erzeugt — beruht. Die Geräuschstärke wird durch die elektromotorische Kraft des Normaltons gleicher Lautstärke, die „Geräuschspannung" gekennzeichnet. Damit können elektrische Maschinen hinsichtlich ihrer Störwirkung auf Fernsprechleitungen bzw. Fernsprechleitungen hinsichtlich ihrer Symmetrie und Störempfindlichkeit untersucht werden.

Ct.

Zur Theorie des Lautsprechers.

Von Hans Riegger. *Wissenschaftl. Veröffentl. a. d. Siemens-Konzern* **3.** *Heft 2. S. 67. 1924.*

Die Rayleighsche Theorie einer Kolbenmembran, die in einer unendlich ausgedehnten starren Wand schwingt, führt zu einfachen Ausdrücken für die mitschwingende Mediummasse und den Strahlungswiderstand, wenn die Bedingung $\frac{2\pi r n}{u} < 1$ erfüllt ist, wo r der Radius der Membran, u die Schallgeschwindigkeit in dem Medium, n die sekundliche Schwingungszahl ist. Dieser Fall ist bereits eingehend diskutiert worden. Für den Fall klanggetreuer Übertragung der Musik und Sprache in Luft, wo Frequenzen bis 5000 zu berücksichtigen sind, ist vorstehende Bedingung nicht mehr durchweg erfüllt.

Verf. entwickelt, ausgehend von der allgemeinen Rayleighschen Formel, die Theorie einer Membran größerer Oberfläche von kreisförmigem bzw. rechteckigem Querschnitt, und berechnet die allgemeine Strahlungsfunktion des elektrodynamischen und elektrostatischen Telephons. Die Ergebnisse werden auf drei Typen von Lautsprechern angewandt, die als Bändchenlautsprecher, als elektrodynamisches und als elektrostatisches Blatt unterschieden werden. *Ct.*

Die Verallgemeinerung des Hyperbelsatzes der geometrischen Optik.

Von S. Bodócs. *Zeitschr. f. Phys.* **28.** *S. 114. 1924.*

Von einem Gegenstand werde durch ein optisches System ein Bild entworfen. Lage und Größe des Bildes stehen in einer gewissen Beziehung zueinander, die sich am einfachsten graphisch darstellen läßt. Trägt man nämlich in einem rechtwinkligen ebenen Koordinatensystem, dessen Ursprung die Lage des zweiten Brennpunkts in dem Moment ist, wenn der erste Brennpunkt den Gegenstand passiert, als Abszisse die Lage des Bildes, als Ordinate seine Vergrößerung auf, so

ist der geometrische Ort der optischen Bilder irgend eines Punktes von gegebener räumlicher Lage eine Hyperbel, wenn das optische System längs seiner optischen Achse bewegt wird. In einer früheren Arbeit hat Verf. diesen Hyperbelsatz nur für den Fall bewiesen, daß der Gegenstand eine unveränderliche Lage besitzt. Dabei ergaben sich gewisse Unterschiede, je nachdem ob als optisches System eine Linse oder ein sphärischer Spiegel benutzt wurden. In der nun vorliegenden Abhandlung kann Verf. zeigen, daß „dieser Unterschied nicht als grundsätzlich betrachtet werden kann", wenn nämlich die spezielle Annahme der festen Gegenstandslage durch die allgemeinere Annahme einer Bewegung des Gegenstandes ersetzt wird. Dann ergeben sich die folgenden allgemeineren Resultate: 1. Die Gültigkeit des Hyperbelsatzes auch im Falle des bewegten Gegenstandes; 2. für jedes optische System gibt es unendlich viele verschiedene Hyperbeln, je nach dem Werte des „Formfaktors", der das Verhältnis der Bewegungen des Gegenstandes und des optischen Systems zueinander zum Ausdruck bringt; 3. bei jedem optischen System können zwei Hyperbeltypen vorkommen, solche mit Wendepunkt und solche ohne diesen; 4. beide Hyperbeltypen lassen sich kontinuierlich ineinander überführen. *Flügge.*

Die Ausbreitung und Zerstreuung des Lichtes in optisch aktiven Substanzen.

Von R. Gans. *Zeitschr. f. Physik* **27**. *S. 164. 1924.*

In einer früheren Arbeit, *Zeitschr. f. Physik* **17**. *S. 353. 1923,* über das Tyndallphänomen in Flüssigkeiten behandelte Verf. auch die Lichtzerstreuung in natürlich drehenden Stoffen. Die Ableitung der diese Erscheinungen wiedergebenden Formeln bezogen sich auf eine Arbeit von M. Born. Die damals erhaltenen Resultate waren aber nicht völlig richtig, da den Bornschen Arbeiten ein Fehler unterlaufen ist; deshalb gibt Verf. nun Verbesserungen seiner damaligen Resultate an. Die für die Lichtfortpflanzung maßgebende Polarisation wird von der Verbesserung nicht betroffen, da in dem räumlichen Mittelwert des elektrischen Moments dasjenige Glied, das Born versehentlich fortgelassen hat, bei Gleichverteilung der Molekeln verschwindet. Wollte man jedoch die Lichterzeugung berechnen, so würde das dafür maßgebende Quadrat dieses Gliedes durchaus nicht Null werden. Wichtige Verbesserungen erfahren die Formeln für die Brechung und die Drehung der Polarisationsebene. Allerdings zeigen sich bei der spezifischen Drehung für Rohrzuckerlösungen Unstimmigkeiten zwischen Rechnung und Beobachtung, deren Ursache bisher noch nicht angegeben werden konnte. In gleicher Weise werden noch die Größen für die Zirkularpolarisation und die Zerstreuung streng abgeleitet. *Flügge.*

Der Cosinus-Satz von A. E. Conrady und T. T. Smith.

Von H. Boegehold. *Central-Ztg. f. Opt. u. Mech.* **45**. *S. 107. 1924.*

Wenn ein Punkt eines Linienelements dl im Dingraum auf einen Punkt eines Linienelements dl' im Bildraum abgebildet wird, wenn außerdem das ganze Linienelement dl auf das Linienelement dl' scharf abgebildet wird, so gilt die Beziehung:

$$n\,dl \cos \varepsilon - n'\,dl' \cos \varepsilon' = \text{konst.}$$

ε und ε' bedeuten hier die Winkel, die irgend ein dingseitiger Strahl mit dl bzw. der dazu gehörige bildseitige Strahl mit dl' einschließen. Dieser Satz ist von Conrady nur für den Fall achsensymmetrischer Folgen unter Benutzung des Theorems von Fermat abgeleitet worden. Verf. gibt nun eine neue Ableitung des Cosinus-Satzes, ausgehend von dem Satz von Malus. Ebenso beweist er die Umkehrung: Wenn ein Punkt eines Linienelements dl im Dingraum auf einen Punkt eines Linienelements dl' abgebildet wird, wenn ferner obige Beziehung gilt, so wird das ganze Linienelement dl auf das Linienelement dl' scharf abgebildet. *Flügge.*

Ein neues Universalokular.

Von A. Herzog. *Zeitschr. f. wissensch. Mikroskopie* **40**. *S. 279. 1923.*

Es wird ein neues Meßokular beschrieben, welches das lästige und nachteilige Auswechseln in den Plättchen dadurch vermeidet, daß auf einem in der Ebene der Okularblende verschiebbaren Glasplättchen mehrere passende Teilungen vorhanden sind. Das Plättchen gleitet in einem Kästchen oder in einem Metallrahmen und enthält Teilungen und Einrichtungen zu folgenden Zwecken:

1. Eine Heimsche Zählscheibe, die außer zur Zählung von kleinen Bakterienkolonien auch zur Bestimmung des Zahlenverhältnisses der roten und weißen Blutkörperchen, zum raschen Zen-

trieren von mikroskopischen Schnitten, zur Markierung bestimmter Stellen im Präparat, zur Bestimmung des Wolkenzugs und endlich als Fadenkreuz dienen kann;

2. eine quadratische Netzteilung zur Bestimmung des Feinheitsgrades, zu mikroskopischen Flächenmessungen, zu Zählzwecken aller Art, zur Prüfung der Einstellung und Musterung von textilen Geweben und zum Nachzeichnen mikroskopischer Präparate;

3. eine Teilung zu mikroskopischen Längenmessungen aller Art, zur bequemen Abgrenzung einer relativ großen Längeneinheit und zu mikroskopischen Winkelmessungen;

4. einen Zeiger zu Demonstrationszwecken;

5. ein freies Feld zu gewöhnlichen Betrachtungen;

6. zwei schmale Gipsplättchen Rot I zum Nachweis sehr schwacher Doppelbrechungen, der Höhen der auftretenden Interferenzfarben und des Charakters der Doppelbrechungen.

Flügge.

Ein neuer Schwärzungsmesser mit Selenzelle.

Von F. C. Toy und S. O. Rawling. *Journ. scientific instr.* ***1.*** *S. 362. 1924.*

Die mitgeteilte Anordnung beruht darauf, daß zwei gleich starke Lichtbündel durch das zu messende Negativ bzw. eine Normalskala für Schwärzung, also z. B. einem Graukeil gesandt werden. Diese beiden so geschwächten Lichtbündel fallen dann abwechselnd auf eine Selenzelle, die mit einer elektromotorischen Kraft und einem Galvanometer in Reihe geschaltet ist. Ändert sich bei abwechselnder Beleuchtung durch beide Lichtbündel die Galvanometereinstellung nicht, so ist die Dichtigkeit des Negativs mit der gerade eingestellten Dichtigkeit der Normalskala übereinstimmend.

Die Platte liegt auf einem horizontalen Tisch mit einer Öffnung, die eine Mattglasscheibe trägt, auf die das Licht einer unter ihr befindlichen 24 W-Glühlampe fällt. Unter dieser ist justierbar eine ähnliche Scheibe angebracht, die so eingestellt wird, daß ihre beiden Helligkeiten übereinstimmen. Durch Prismen- und Linsensysteme werden dann die Bilder der beiden Mattscheiben durch Platte bzw. Graukeil auf eine nach den Angaben von Thirring hergestellte Selenzelle geworfen. In den Strahlengang sind zwei Schirme eingeschaltet, die abwechselnd einen Strahl abschirmen und von Hand betätigt werden. Die Normalskala wird unterhalb des Tisches parallel zur Platte durch Zahn und Trieb bewegt, und ihre Stellung wird an einer Skala von 9 cm Länge mit Nonius abgelesen. Als Stromquelle dient eine Trockenbatterie von 36 V, in Stufen benutzbar, und als Galvanometer ein Zeigergalvanometer von einer Empfindlichkeit von 80 mm für 10^{-6} A. Die Trägheit und Nachwirkung der Selenzelle ist praktisch bedeutungslos. Besondere Versuche ergaben, daß Messungen mit dieser Anordnung vollkommen mit den Ergebnissen von Messungen mit visuellen Photometern übereinstimmen. *Block.*

Änderung des photoelektrischen Effekts mit der Temperatur bei Kalium-Zellen.

Von Herbert E. Ives. *Journ. Opt. Soc. of Am. 8. S. 551. 1924.*

Für den photoelektrischen Effekt, und zwar sowohl für den normalen als auch für den selektiven[1]), galt bislang das für photometrische Zwecke unerläßliche Fundamentalgesetz, daß in aller Strenge die Zahl der abgespaltenen Elektronen (Photostrom) der Intensität des erregenden Lichtes direkt proportional wäre. Elster und Geitel hatten die Gültigkeit dieses Gesetzes in dem weiten Helligkeitsintervall von 0,3 der Sonnenhelligkeit bis $6 \cdot 10^{-4}$ Meterkerzen geprüft und bestätigt gefunden. Von der Temperatur der bestrahlten Metallschicht in der Photozelle erwies sich die Anzahl der emittierten Elektronen in weiten Grenzen als unabhängig.

In vorstehender Arbeit wird nun gezeigt, daß eine Einschränkung der letzten Annahme gemacht werden muß. Der photoelektrische Strom ändert sich bei hochevakuierten Kalium- und auch bei Natrium-Zellen mit der Temperatur, wie an zahlreichen Photozellen verschiedenartigster Konstruktion einwandfrei nachgewiesen wird. Allerdings können diese Stromänderungen bei Temperaturen über 0°, wie sie bei photometrischen Zwecken wohl meist in Frage kommen, vernachlässigt werden. Sie werden aber größer, je tiefer die Temperatur ist und erreichen bei der Temperatur der flüssigen

---

[1]) Siehe *diese Zeitschr.* ***44.*** *S. 229. 1924.*

Luft ein Maximum. Die bei tiefen Temperaturen beobachtete Abnahme des photoelektrischen Stromes betrifft den normalen und selektiven Effekt und hängt von der Frequenz der erregenden Strahlung ab. Je geringer die Frequenz ist, desto größer erweist sich die Stromänderung, die für blaues Licht ungefähr 20%, für gelbes Licht 45% beträgt. Diese Abnahmen gelten für das Temperaturintervall von + 20° bis — 180° C. Durch besondere Versuche wird der berechtigte Einwand widerlegt, daß die beobachteten Änderungen des Photostromes eine Folge von Änderungen des Vakuums in der Zelle sein könnten. Bekanntlich okkludieren die Alkalimetalle bei tiefen Temperaturen die möglicherweise vorhandenen Gasreste, und eine dadurch veränderte Metalloberfläche hätte sehr wohl die Erscheinung der Stromabnahme erklären können. Es wird der Versuch gemacht, den Temperatureinfluß auf die Größe des Photostromes auf eine Änderung der Arbeitsleistung zurückzuführen, die erforderlich ist, um den Austritt der Elektronen aus der Metalloberfläche zu erreichen. *Wr.*

Geschmolzener blasenfreier Quarz, eine geschichtliche Richtigstellung.

Von M. v. Schwarz. *Physikal Zeitschr.* **25.** *S. 374. 1924.*

Über die Durchlässigkeit von Quarzglas.

Von Georg Joos. *Physikal. Zeitschr.* **25.** *S. 376. 1924.*

Im Anschluß an mehrfache Mitteilungen der Tagespresse, daß es in Amerika gelungen sei, Quarz zu blasenfreien Stücken zu schmelzen, wird darauf hingewiesen, daß das in Deutschland nach den Patenten von Helberger schon seit 10 Jahren möglich ist. Nach diesen Versuchen wird der Quarz elektrisch im Vakuum geschmolzen. Es bleiben dann in der flüssigen Schmelze noch unvermeidliche kleine Bläschen übrig, die infolge der Zähigkeit der Schmelze nicht entweichen können. Die flüssige Schmelze wird dann im Ofen einem Überdruck durch Kohlensäure von 8—12 Atm. ausgesetzt; dadurch werden die Gasbläschen auf die Größe zurückgebracht, die sie bei gewöhnlicher Temperatur haben und so erreicht man es, daß das Stück spannungsfrei erkaltet. Die so übrig bleibenden Gaseinschlüsse sind praktisch bedeutungslos. Derartiges Quarzglas zeigt im Vergleich mit Bergkristall keinen wesentlichen Unterschied. Eine Absorption beginnt erst bei etwa 2000 Å.-E., und ist auch bei 1980 Å.-E. sehr mäßig. *Block.*

Herstellung und Versilberung von Quarzfäden.

Von F. C. Keeley. *Journ. scientific instr.* **1.** *S. 369. 1924.*

Der Verf. hat eine Reihe von Verfahren zur Herstellung dünnster Quarzfäden praktisch erprobt. Gemeinsam ist ihnen allen, daß man nur einen ganz kleinen Teil des Ausgangskristalls zum Schmelzen bringen darf. Als Heizquelle ist am geeignetsten das Knallgasgebläse. Nach dem einen Verfahren wird ein zylindrisches Stück Quarz zunächst in der Mitte auf ein wenige Zehntel Millimeter starkes Stück ausgezogen, das eine Ende fest eingespannt und an dem andern Ende ein Gummiband befestigt, von rund 1 m Länge, das auf etwa 1,5 m gespannt und festgehalten wird. Schmilzt der Quarz, wird die Flamme sofort entfernt und die Halteeinrichtung des Bandes gelöst, das zurückschnellt und den Faden auszieht. Es tritt leicht ein, daß die Fäden nicht ganz geradlinig sind, infolge seitlicher Einwirkung der Hitze beim Schmelzen, aber man kann sie im Notfall durch vertikales Aufhängen und Erhitzen mit der gleichen Flamme strecken. Indessen leiden ihre Eigenschaften darunter. Ähnlich ist es möglich, sehr dünne Fäden zu erhalten, wenn man den Kristall einseitig zu einer feinen Spitze auszieht, und diese mit Hilfe einer starken Knallgasflamme schmilzt; dann bläst die Flamme selbst den Quarz in dünnsten Fäden seitlich fort. Auch in der Weise, daß man den Quarz schmelzen und abtropfen läßt, kann man Fäden kürzerer Länge erhalten. Das Verfahren erscheint aber nicht sehr praktisch. Wohl aber in einer abgeänderten Form, indem man den Quarz zunächst auf kurzer Strecke in einen Faden auszieht, diesen mit einer Spirale aus Wolframdraht umgibt, die elektrisch so weit geheizt wird, bis der Quarz schmilzt und der anfänglich starke Faden durch das Gewicht des anhängenden Teils zu einem feinen ausgezogen wird. Die Heizung muß in einer Wasserstoffatmosphäre ausgeführt werden.

Das Leitendmachen solcher Fäden erfolgt am besten und sichersten, ohne daß die elastischen und Festigkeitseigenschaften des Fadens wesentlich geändert werden, durch Versilberung durch Kathodenzerstäubung. Hier bringen die Angaben des Verfassers nichts Neues. Zu beachten ist nur, daß es ganz langsam mit reichlichen Pausen zum Abkühlen vorgenommen werden muß, damit der Silberüberzug nicht leidet. *Block.*

Bücherbesprechungen.

Ergebnisse der exakten Naturwissenschaften. Herausgegeben von der Schriftleitung der „Naturwissenschaften". Dritter Band. 8⁰. 404 S. mit 100 Abb. Berlin, Julius Springer, 1924. Brosch. 18.— GM.; gebunden 19.20 GM.

Die „Ergebnisse der exakten Naturwissenschaften" bringen im dritten Bande unter anderen naturwissenschaftlichen Abhandlungen drei Aufsätze aus dem Gebiete der Astronomie und Astrophysik, die gut geeignet sind, einen Einblick in die Aufgaben und Arbeitsmethoden der modernen Astronomie zu gewähren.

„Die Strahlung der Sterne" von Alfred Brill, Neubabelsberg, macht zunächst mit den Methoden der Strahlungsmessungen und den hierbei zu beachtenden Fehlerquellen bekannt. Während die visuellen und photographischen Methoden, die sich mit der Strahlung in einem begrenzten Spektralbereich befassen, durch die lichtelektrische Methode (lichtempfindliche Alkalizelle mit Elektrometer) an Genauigkeit überragt werden, hat bei der Bestimmung der Gesamtstrahlung der Sterne die thermoelektrische Methode die Führung übernommen. Bei den Resultaten der Strahlungsmessungen, den Helligkeiten, Temperaturen und Farben der Sterne, weist Verfasser besonders auf die Schwierigkeiten hin, die bei der Bestimmung der Temperaturen der heißesten Sterne auftreten. Als wichtige weitere Aufgabe stellt er die Ableitung von wahren Durchmessern und Parallaxen aus Helligkeits- und Farbmessungen der Gestirne hin.

Der zweite Aufsatz: „Die Statistik der Leuchtkräfte der Sterne" von R. Hess, München, führt in das mit den Namen Seeliger und Schwarzschild eng verknüpfte Gebiet der Stellarstatistik, einen neuen Zweig der Astronomie. Verfasser macht darauf aufmerksam, daß es bei diesen statistischen Untersuchungen nicht auf ein bloßes Abzählen der Sterne ankommt, sondern daß hauptsächlich die räumliche Verteilung der Sterne zu erforschen sei. Das wichtigste Ergebnis in der Statistik der Leuchtkräfte der Sterne ist ihre Scheidung in Riesen- und Zwergsterne und ihre Verteilung auf die verschiedenen Spektralklassen. Der Verfasser hofft, daß die in den statistischen Betrachtungen noch vorhandenen Unstimmigkeiten sich durch Häufung der Beobachtungsdaten werden beseitigen lassen.

In der dritten Abhandlung: „Die astronomischen Prüfungen der allgemeinen Relativitätstheorie" unternimmt es Hans Kienle, Göttingen, die bisherigen Prüfungsergebnisse zusammenzustellen. Es muß anerkannt werden, daß der Überblick in äußerst sachlicher Weise gegeben wird. Der Verfasser behandelt die astronomischen Prüfungskriterien, die Periheldrehung im Zweikörperproblem, die Rotverschiebung der Spektrallinien und die Ablenkung der Lichtstrahlen im Schwerefeld der Sonne, die von ausschlaggebender Bedeutung für die Haltbarkeit der Theorie sind. Er kommt zu dem Ergebnis, daß die Messungen der Theorie bisher eine volle Bestätigung nicht haben bringen können, daß jedoch die beobachteten Effekte qualitativ überall in dem von der Theorie vorausgesagten Sinne liegen. — Bei allen drei Aufsätzen ergänzen zahlreiche Literaturangaben den Text. *G. Zipler.*

Dr. W. Hinrichs, Einführung in die geometrische Optik. Zweite verbesserte Auflage. Mit 56 Figuren. Sammlung Göschen Nr. 532. Berlin und Leipzig, 1924, Walter de Gruyter & Co.

Nach längerem Vergriffensein der ersten Auflage dieses Büchleins ist nun die zweite erschienen. Das kleine Werk soll eine Vorbereitung sein zum Studium eingehender Fachliteratur. Es stellt die geometrische Optik vom Standpunkt des praktischen Rechners dar und verzichtet somit auf alle höheren analytischen Beziehungen; vielmehr behandelt es den geometrischen Strahlengang, wie er sich trigonometrisch oder rein synthetisch-geometrisch darstellt. Dabei ist nicht nur auf den Strahlengang im Gaußschen fadenförmigen Raum Rücksicht genommen worden, sondern auch das außeraxiale Gebiet wird mit behandelt, eine Erweiterung der auf den Schulen gelehrten Sätze, die sich der Leser des Büchleins häufig selbst an Hand von Aufgaben entwickeln kann. Auf die Fehler der optischen Abbildung ist jedoch nicht weitläufiger eingegangen worden. Besonders begrüßenswert ist die Stellung von zahlreichen Aufgaben, die sich alle wirklich nur auf Probleme der Praxis beziehen. Auch die einfachste Art der Durchrechnung eines Strahls durch ein Linsensystem wird behandelt und durch zahlenmäßige Beispiele erläutert. Das Buch eignet sich also in besonderer Weise als Nachschlagewerk und als Hilfsmittel für den praktischen Rechner. *Flügge.*

Zum Aufsatz von W. Schermerhorn, Vergleichung des neuen Zeiss-Theodolites mit heutigen Konstruktionen. *Diese Zeitschr.* **45.** *S. 16. 1925.*

Von Dr. O. v. Gruber in Jena.

Schermerhorn hat sich der dankenswerten Aufgabe unterzogen, den neuen Zeiss-Theodolit eingehend zu untersuchen. Er kommt dabei hinsichtlich der Leistungsfähigkeit des Instrumentes zu Prüfungsergebnissen, die mit den Resultaten von Untersuchungen sehr gut übereinstimmen, die ich selbst an einer größeren Anzahl dieser Instrumente angestellt habe. Danach beträgt der mittlere totale Fehler einer Richtungsmessung rund 2''. Als mittlerer Fehler einer Zenitdistanzmessung habe ich in Übereinstimmung mit O. Eggert rund $4^1/_2$'' festgestellt. Schermerhorn bemerkt sehr richtig, daß eine Schätzung von Zehntelsekunden am optischen Mikrometer zwecklos wäre und dahingehende Genauigkeitsforderungen an das Instrument nicht gestellt werden dürfen.

Während also hinsichtlich der Leistungsfähigkeit des Instrumentes vollkommene Übereinstimmung besteht, können einige Bemerkungen des Verfassers nicht unwidersprochen bleiben:

1. Schermerhorn stellt fest, daß das Instrument für Kataster-, Gruben- und Stadtvermessungen nicht geeignet sei, „weil gerade dabei die optische Zentrierung eine große Rolle spielt“. Diese Feststellung ist irrig. Der neue Zeiss-Theodolit besitzt im Gegensatz zur Angabe des Verfassers Zwangszentrierung und wird auf Wunsch mit optischem Lot geliefert, außerdem mit zwei weiteren Stativen und zugehörigen Dreifüßen samt zwangszentrierten Zieltafeln, so daß mit dem Instrument alle Polygonmessungen mit nur irgend wünschenswerter Genauigkeit durchgeführt werden können. Für Messungen unter Tage wird das Instrument mit elektrischer Beleuchtung und ebenso beleuchteten Zieleinrichtungen versehen. Das Instrument ist also, abgesehen von seiner Eignung für Triangulationen 3. und 4. Ordnung, gerade für Polygonmessungen und im Zusammenhang damit für Kataster-, Gruben- und Stadtvermessungen gebaut.

2. Schermerhorn beurteilt die Frage des geringen Gewichtes und der Zweckmäßigkeit eines Höhenkreises vom Standpunkt eines holländischen Praktikers, der nur ebenes Gelände kennt, nicht aber von dem eines Praktikers aus dem Bergland Mittel- und Süddeutschlands. Dieser ist für jedes Kilogramm äußerst dankbar, das er am Instrument weniger zu schleppen hat, und begrüßt es, ein Instrument zu besitzen, das er neben seiner ganzen übrigen Ausrüstung selbst mitnehmen kann, ohne dazu eines Trägers zu bedürfen. Der Praktiker aus dem Bergland macht aber auch gerne von der trigonometrischen Höhenmessung Gebrauch. Nur verlangt er hierfür keine größere Meßgenauigkeit, als sie den Fehlern aus der wechselnden Strahlenbrechung in der Luft entspricht. Wenn der neue Zeiss-Theodolit die Höhenmessung mit einem mittleren Fehler von rund 5'' erlaubt, so muß diese Genauigkeit also als völlig ausreichend für die trigonometrische Höhenmessung bezeichnet werden. Es ist nicht wohl angängig, das Fehlen in der Übereinstimmung der Genauigkeiten von Richtungs- und Höhenmessung als konstruktiven Fehler zu bezeichnen, wenn die Konstruktion so vereinfacht ist, daß ein und dieselbe Mikrometereinrichtung zu beiden Messungen dient und nur in dem einen Fall nicht so ausgenützt wird wie in dem anderen. Man verwendet doch auch sonst dasselbe Maß in Fällen, wo man gelegentlich nur eine geringere Genauigkeit verlangt.

Die Verwendung kleiner und dabei genau messender Instrumente ist nicht, wie Schermerhorn andeutet, eine reine Modesache. Ihr liegt vielmehr eine sehr wesentliche Frage der Wirtschaftlichkeit zugrunde. Ist es doch keineswegs gleichgültig, ob die Messungsergebnisse bei der Berechnung einer Ausgleichung unterzogen werden müssen, oder ob die Messungen von vornherein so genau sind, daß die vom Endergebnis verlangte Genauigkeit ohne Ausgleichung gewährleistet ist. Gerade hierdurch läßt sich außerordentlich viel Zeit und damit Geld sparen. Der Praktiker muß sich, um wirtschaftlich zu arbeiten, auf den Standpunkt stellen, daß die Ausgleichsrechnung für alle Kleintriangulationen nur dazu da ist, um aus ihr zu lernen, wie man Netz und Messungen anlegen muß, um die Ausgleichung überflüssig zu machen. Dazu ist außer einer guten Anlage des Netzes ein exakt messendes Instrument nötig. Dieser Forderung wird der neue Zeiss-Theodolit gerecht. Er hat darüber hinaus den Vorteil, daß er geringeres Gewicht hat als die übrigen Instrumente gleicher Leistungsfähigkeit und dabei rascher arbeitet.

Entgegnung auf die vorstehende Zuschrift von Dr. v. Gruber in Jena.

Nachdem der Firma Carl Zeiss meine Abhandlung auf meine Veranlassung vor der Veröffentlichung zur Durchsicht zugegangen war, hat Dr. von Gruber die vorstehende Erwiderung eingesandt. Ich danke Dr. von Gruber höflichst für seine Bemerkungen, welche den Wert meiner Abhandlung erhöhen. Zu den beiden von Dr. von Gruber hervorgehobenen Punkten möchte ich folgendes erklären.

1. Dr. von Gruber hat recht, wenn er sagt, daß das Instrument schon jetzt Zwangszentrierung hat. Aus den mir bekannten und erwähnten Veröffentlichungen von seiten der Firma Zeiss und aus der „Anweisung zum Gebrauch des Theodolit" geht jedoch nicht hervor, daß die Trennung des Theodolitunterteils in zwei Teile gerade mit Rücksicht auf die Zwangszentrierung gewählt worden ist. Auch von der Möglichkeit der optischen Zentrierung ist keine Rede, wohl aber vom Schnurlot. Dr. König erwähnt auch die elektrische Beleuchtung besonders für die Anwendung in der Grube. Auch die beiden Instrumente, welche ich im April 1923 in Jena und in Berlin gesehen hatte, waren nicht mit dieser optischen Zentrierung ausgestattet. Dies alles erklärt vielleicht einigermaßen meine Annahme. Daß auf diese Vervollständigungen durch die Firma Zeiss bis jetzt so wenig hingewiesen worden ist, befremdet um so mehr, als aus den Mitteilungen von Dr. von Gruber hervorgeht, daß das Instrument gerade für Polygonmessung gebaut ist (Dr. König nennt nur Triangulationen 3. und 4. Ordnung, Tachymetrie und Gebrauch als Universalinstrument). Jedenfalls hat das Instrument durch diese Mitteilungen für mich sehr an Brauchbarkeit gewonnen, und die Bemerkungen in 8B meiner Arbeit sind nur zutreffend, wenn das Instrument ohne die von Dr. von Gruber genannten Ergänzungsteile verwendet wird.

2. Da ich keine Erfahrungen über Vermessungen im Bergland habe, so konnte ich auch nicht sagen, daß unter allen Umständen der Höhenkreis weggelassen werden kann. Ich meine nur, daß es eine sehr große Zahl von Fällen gibt, wo eine zweite Form ohne Höhenkreis erwünscht ist.

Als konstruktiven Fehler habe ich nur erwähnt eine Höhenkreisablesung auf einzelne Sekunden, verbunden mit einer Höhenkreislibelle von 30 Sek. Daß man der Ablesung des Höhenkreises diese große Genauigkeit gegeben hat, um nur eine Mikrometerschraube verwenden zu können, war auch mir deutlich: es ist für mich aber die Frage, ob es nicht besser wäre, die Einheit der Ablesung an beiden Kreisen auf 10 Sekunden zu normieren. Damit wäre zugleich der Winkelwert von 30 Sek. in Einklang, wie auch die ganze Zenitdistanzmessung. Die absolute Genauigkeit der Ablesung an dem Grundkreis würde dieselbe bleiben.

Daß man besonders im Bergland leichte Instrumente braucht, ist klar, aber auch nur dort spielt der Transport eine schwerwiegende Rolle.

Was Dr. von Gruber zum Schluß bezüglich der Ausgleichungsrechnung sagt, ist wohl für genaue, aber nicht für kleine Instrumente zutreffend. Bezüglich der Genauigkeit des Instrumentes verweise ich auf meinen § 6. Ich bin der Meinung, daß man für ein einwandfreies System von Kataster-, Stadt- und Grubenvermessungen doch immer eine gewisse Ausgleichung, mit oder ohne Methode der kleinsten Quadrate, braucht. Auch bei Arbeiten mit dem neuen Zeiss-Theodolit bleibt es notwendig, Schlußfehler von Dreiecken, Polygonen usw. zu verteilen, indem man beim Rückwärtseinschnitt doch noch immer sechs oder fünf Festpunkte verwendet und die Ergebnisse nach der Methode der kleinsten Quadrate ausgleicht. In dieser Richtung sehe ich deshalb keine Neuerung in der Anwendung des neuen Zeiss-Theodoliten. *W. Schermerhorn.*

Gebührenordnung der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt, Abteilung I für Maß und Gewicht.

Durch Bekanntmachung vom 26. August 1924 ist folgende Gebührenordnung für die Prüfung von Meßgeräten, für die Prüfung von Konstruktionen und für die Abgabe von Gutachten durch die Abteilung I für Maß und Gewicht der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt erlassen. Die Bekanntmachung ist im Deutschen Reichsanzeiger vom 26. August 1924 Nr. 201 veröffentlicht worden und am 1. September 1924 unter Aufhebung aller früheren ent-

sprechenden Bestimmungen — von denjenigen für Schiffsvermessungs- und eichamtliche Geräte abgesehen — in Kraft getreten. Sonderabdrucke sind zum Preise von 0,30 Mark bei der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt, Abteilung I für Maß und Gewicht, Charlottenburg, Werner-Siemens-Str. 27/28 zu beziehen.

Artikel 1.

Auf Grund des § 15 der Geschäftsordnung für die „Physikalisch-Technische Reichsanstalt vom 26. Juni 1916“ werden folgende Bestimmungen erlassen, die für das Rechtsverhältnis der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt, Abt. I für Maß und Gewicht und den Antragsteller maßgebend sind:

A. Gebühren für Prüfung von Meßgeräten.

I. Allgemeine Bestimmungen.

1. Die Prüfungen werden, soweit möglich, in der Reihenfolge erledigt, in der die Prüfungsanträge und die zugehörigen Gegenstände eingehen. Die Erledigungsfristen richten sich nach der jeweiligen Geschäftslage.

Für Prüfungen, deren Erledigung vom Einsender wegen besonderer Dringlichkeit außer der Reihe gewünscht wird und bei der Geschäftslage auch dementsprechend erfolgt, werden die Prüfungsgebühren in doppelter Höhe erhoben.

2. Die Gebühren für die von der Reichsanstalt ausgeführten Prüfungen von Meßgeräten werden im allgemeinen nach den unter II zusammengestellten Sätzen erhoben.

Soweit Eichungen durch die Reichsanstalt selbst erfolgen, finden die Sätze und Bestimmungen der Eichgebührenordnung Anwendung.

3. In besonderen Fällen erfolgt die Berechnung der Prüfungsgebühren nach Maßgabe der aufgewendeten Zeit und des Verbrauchs an Material, Gas, Wasser, elektrischem Strom usw. Die Arbeitsstunde wird mit 5 Goldmark angesetzt, soweit es sich um Prüfungen oder Untersuchungen handelt. Für Reinigen, Aufbringen von Temperaturvermerken, Ziehen von Strichen und ähnliches wird die Arbeitsstunde mit 2,50 Goldmark berechnet.

4. Für Prüfungen außerhalb der Reichsanstalt werden Zuschläge entweder in der in der Eichgebührenordnung festgelegten Höhe erhoben oder erhöhte Prüfungsgebühren bis zum $1\,^1/_2$fachen der gewöhnlichen Sätze.

Dazu treten gegebenenfalls die bestimmungsmäßigen Reise- und Tagegelder für die mit den Arbeiten beauftragten Beamten sowie die Beförderungskosten für Apparate usw.

5. Für Prüfungen, die für das Ausland — vorbehaltlich verfügbarer Zeit — ausgeführt werden, bleibt die Festsetzung der Gebühren vorbehalten.

6. Die Prüfungsgegenstände werden im allgemeinen in der gleichen Weise und in der gleichen Verpackung, wie die Einsendung erfolgte, ohne besondere Berechnung zurückgesandt. Muß eine neue Verpackung benutzt werden, so trägt der Antragsteller die Kosten.

7. Es kann ein Gebührenvorschuß erhoben, auch die Aushändigung der Prüfungsgegenstände von der Zahlung der vollen Gebühren abhängig gemacht werden. Im übrigen sind bei nicht rechteitiger Zahlung der Gebühren für eine je vierwöchentliche Versäumnis mit Rücksicht auf den Zinsenausfall und die der Behörde entstehende Mehrarbeit Zuschläge in Höhe von oder bis zu 5 vH zu erheben.

8. Für die Zahlung in Goldmark ist der amtliche Kurs am Tage vor der Zahlung maßgebend.

II. Gebührensätze.

1. Längenmaße.

	G.-M.
a) Strichmaße und Skalen:	
Gesamtlängen auf 0,01 mm	9,00
„ „ 0,001 mm	15,00
Teilungen auf 0,01 mm für den Strich	0,50
„ „ 0,001 mm für den Strich	0,75
Einzelne Hilfsintervalle je	3,75

b) Meßbänder aus Metall von 20 m:
für Prüfung aller Meterintervalle auf 0,1 mm 30,00
für andere Längen und Prüfstellen
für die Gesamtlänge 10,00
für jedes Intervall 1,00

c) Meßdrähte zu 24 m Länge:
für die Gesamtlänge auf 0,1 mm 30,00
„ „ „ „ 0,01 mm 60,00

d) Endmaße:
Gewöhnliche Endmeter mit schneidenförmigen Enden 3,00
Endmaße, auch Polarisationsröhren, typographische Maße usw. auf 0,01 mm oder bei Angabe und Beglaubigung auf Innehaltung einer Fehlergrenze von 0,005 mm 7,50
bei Rückgabe ohne Beglaubigung 5,00
Endmaße usw. bei Angabe und Beglaubigung auf Innehaltung einer Fehlergrenze von 0,001 mm 10,00
bei Angabe und Beglaubigung auf Innehaltung einer Fehlergrenze von 0,0001 mm 15,00

e) Sphärometerringe an je 3 Punkten innen und außen auf 0,001 mm 25,00
Meßkeil für jeden Punkt 5,00
bei mehr als 3 Punkten für jeden Punkt 4,00
Trägheitskörper einschließlich Wägung 30,00
Kaliberbolzen . . . . 6,00—15,00

f) Gewinde:
Normalgewinde . . . . 6,00—15,00
Leitspindeln unter 1 m Gewinde 20,00
„ von 1 m bis unter 2 m Gewindelänge 30,00
„ von 2 m und mehr Gewindelänge je nach Zeitaufwand.

g) Ausdehnungsbestimmungen:
bei Längen bis zu etwa 1 m also: bei 3 Temperaturen 50,00
bei größeren Längen und mehr Temperaturen entsprechend mehr.

h) Nichteichfähige Planimeter 15,00

2. Gewichte und Waagen.

a) Analytische Gewichtssätze: G.-M.
Gewichte von 1 kg und darüber 3,00
„ unter 1 kg bis 1 g abwärts 2,00
„ „ 1 g 1,50

b) Prüfungen höherer Genauigkeit werden zum $1^1/_2$ fachen Satz berechnet.

c) Volumenbestimmungen durch Auswägen in Wasser werden nach dem Zeitaufwand berechnet.

d) Prüfung wissenschaftlicher Waagen je nach dem Zeitaufwand.

3. Akustische Messungen.

A. Stimmgabeln für den internationalen Stimmton:

a) Für die Beglaubigung einer gewöhnlichen Gabel mit Schallkasten 6,75
Für die Beglaubigung einer gewöhnlichen Gabel ohne Schallkasten 6,00

b) Für die Beglaubigung einer Präzisionsgabel mit Schallkasten 12,75
Für die Beglaubigung einer Präzisionsgabel ohne Schallkasten 12,00

c) Für die wiederholte Beglaubigung einer Stimmgabel $^2/_3$ der vorstehenden Sätze.

d) Bei gleichzeitiger Einsendung von 10 oder mehr beglaubigungsfähigen Stimmgabeln erniedrigen sich die Gebühren um $^1/_3$ der vorstehenden Sätze.

e) Für die Vorprüfung einer Gabel, die sich als unzulässig erweist, bei gewöhnlichen und Präzisionsgabeln 2,00

f) Für Arbeiten an einer Gabel, die sich beim Anlassen als unzulässig erweist, bei gewöhnlichen und Präzisionsgabeln 4,00

B. Andere Stimmgabeln:

Für die Prüfung einer anderen Gabel von 50 bis 2000 Doppelschwingungen,

a) wenn ein Vergleichsnormal vorhanden ist 25,00

b) wenn eine absolute Zählung nötig ist 50,00

C. Andere schwingende Systeme je nach Zeitaufwand.

4. Aräometer.

Für jeden Punkt der Aräometerskale bei Prüfung mit Normal 2,50

Für jeden Punkt der Thermometerskale 0,50

Bei vollständiger Fehlertafel, wobei 10 Striche aräometrisch geprüft werden sollen 50,00

5. Gasmesser und Hilfsapparate zur Prüfung von Gasmessern.

a) Kontroll- und Versuchsgasmesser:

0,3 bis 1,5 cbm (bis 10 Flammen)	17,50
bis 4 „ (bis 20 „)	25,00
bis 6 „ (bis 30 „)	30,00
bis 8 „ (bis 50 „)	35,00
bis 10 „ (bis 60 „)	42,00
bis 15 „ (bis 100 „)	50,00
bis 30 „ (bis 200 „)	60,00

Zuschlag für Nebenarbeiten $^1/_2$, für Fehlerschein bis zu $^1/_4$ der Gebühren.

b) Gasometerwippe zu 50 l 20,00

„ „ 100 l 30,00

Zuschläge wie oben ($^1/_2$ und $^1/_4$ der Gebühren).

Die obigen Sätze unter a und b gelten für Prüfung mit drei Geschwindigkeiten. Für jede weitere wird ein Zuschlag von $^1/_4$ der Gebühren erhoben.

c) Kubizierapparate

für 100 l	15,00
„ bis 400 l einschließlich	30,00
„ bis 600 l „	40,00
„ bis 800 l „	50,00
„ bis 1000 l „	60,00
für je 100 l mehr: Zuschlag von	5,00

Für Nebenarbeiten Zuschlag von $^1/_2$ der Gebühren, für Ausstellung eines Fehlerscheins Zuschlag bis zu $^1/_4$ der Gebühren.

6. Meßwerkzeuge für wissenschaftliche und technische Untersuchungen, medizinische Spritzen.

a) Für Prüfung von Geräten, die nur in der Form, Einteilung, Bezeichnung usw. von den Eichvorschriften abweichen: die doppelten Sätze der Eichgebührenordnung.

b) Für Prüfung von Meßwerkzeugen, die nicht in der Eichordnung aufgeführt sind, z. B. Kapillarpipetten für Blutuntersuchungen:

bei Bestimmung einer Raumgröße 1,00

„ „ mehrerer Raumgrößen 2,00

c) Bei Prüfungen, die zur Aufstellung eines Fehlerverzeichnisses (Prüfungsschein) führen sollen, erhöhen sich die Gebühren zu a und b um 50 vH; die Ausstellung des Prüfungsscheins wird nicht besonders berechnet.

7. Dampfmesser. G.-M.

Bis 50 mm lichter Weite	10,00
über 50 mm „ „	15,00

8. Zoll- und steueramtliche Geräte[1]).

a) Geräte zur zollamtlichen Untersuchung von Textilwaren sowie zur Prüfung der Wandstärke von Blech, Bindfaden usw.

Gegenstand	Prüfungsgebühr G.-M.	Nachprüfungsgebühr G.-M.
Präzisionsweife nebst Strähnhaspel	15,00	15,00
Präzisionsneigungswaage	10,00	10,00
Gewichtssatz	5,00	5,00
Präzisionsfadenzähler	5,00	3,00
Doppelschere	3,00	3,00
Doppelschablone 2 × 2 cm	3,00	3,00
" 2 × 4 cm	3,00	3,00
" 5 × 20 cm	3,00	3,00
" 10 × 50 cm	6,00	6,00
Schraublehre	3,00	3,00
Schublehre	10,00	5,00

b) Geräte zur Ermittlung der Weingeistmengen mit der Brennvorrichtung.

Gegenstand	Prüfungsgebühr G.-M.
Schüttelbürette von 300 ccm Inhalt	7,50
Standglas von 100 ccm Inhalt	3,00
2 Weingeistspindeln von 0—30% und 29—57% je	11,25
2 Lutterprober nach Tralles von 0—9% und 3—16% je	5,25

c) Geräte zur Ermittlung des Gehalts von Vergällungsessig.

Gegenstand	Prüfungsgebühr G.-M.
Normalessigprober (mit 2 Marken)	2,25
Vollständiger Essigprober	4,75

9. a) Schiffsvermessungsgeräte.
b) Eichamtliche Geräte.

Es bleibt vorbehalten, etwaige Änderungen der Gebühren für die Prüfung von Schiffsvermessungsgeräten für das Reichs-Schiffsvermessungsamt und für die Prüfung von eichamtlichen Geräten für die Eichungsaufsichtsbehörden den genannten Behörden unmittelbar mitzuteilen.

B. Gebühren für die Prüfung von Konstruktionen und Konstruktionsteilen auf Eichfähigkeit.

I. Allgemeine Bestimmungen.

1. Die allgemeinen Bestimmungen im Abschnitt A dieser Gebührenordnung finden sinngemäße Anwendung.

2. Entscheidungen der Reichsanstalt, nach denen Konstruktionen oder Konstruktionsteile nach den geltenden Bestimmungen für zulässig erkannt werden, sind gebührenfrei[2]).

[1]) Die folgenden Geräte werden auch für andere als die Zoll- und Steuerverwaltung zu den angegebenen Sätzen von der Reichsanstalt geprüft.

[2]) Anfragen über die Zulässigkeit von Konstruktionen oder Konstruktionsteilen sind in der Regel an erster Stelle dem zuständigen Eichamt, an zweiter Stelle der vorgesetzten Eichungsaufsichtsbehörde vorzulegen. An letzter Stelle kann von der Aufsichtsbehörde wie von dem Anfragenden die Entscheidung der Reichsanstalt herbeigeführt werden. Wird auf Unzulässigkeit erkannt, so kann gleichwohl die Zulassung zur Eichung beantragt werden. Dieser Antrag sowie jeder Antrag auf Zulassung von Konstruktionen und Konstruktionsteilen, die nach den geltenden Bestimmungen zweifellos unzulässig sind, kann auch bei der Reichsanstalt unmittelbar gestellt werden. Für die Frage der Erhebung von Gebühren ist es unerheblich, welcher Weg gewählt wird.

Von jeder Ausführungsform ist ein Stück in vollständig betriebsfähigem Zustand der Reichsanstalt einzureichen. Bei sehr umfangreichen Ausführungsformen oder in besonderen Fällen kann die Reichsanstalt an Stelle eines solchen Stückes die Einsendung eines Modells oder deutlicher Zeichnungen als genügend anerkennen. Neben einem betriebsfertigen Stück oder einem Modell kann

3. Bei Anträgen auf Zulassung werden Gebühren erhoben in der Form von:
1. Anmeldegebühren,
2. Prüfungsgebühren,
3. Zulassungsgebühren.

Die Gebühren zu 1 und 2 werden auch erhoben, wenn der Antrag abgelehnt wird.

Außerdem sind alle sächlichen Ausgaben sowie auch die persönlichen Ausgaben, falls Reisen erforderlich werden, und wenn das Meßgerät probeweise geeicht wird oder geeicht werden soll, während des Versuchsstadiums die Eichgebühren usw. zu erstatten. Wird im Falle der Ablehnung der Antrag auf Zulassung wiederholt gestellt, so können die Anmeldegebühren ganz, die Prüfungsgebühren bis zur halben Höhe erlassen werden.

Für zusätzliche Anträge werden Gebühren bis zur halben Höhe, je nach den Verhältnissen, erhoben.

Ferner ist ein Ersatz der durch die Veröffentlichung, zurzeit in den *Mitteilungen* der Reichsanstalt, entstehenden Druckkosten zu leisten.

4. Die Höhe der Gebühren staffelt sich in drei Gruppen, je nachdem, ob eine einfache Besichtigung zur Entscheidung über die Zulassung zur Eichung genügt (A) oder eine Prüfung der Ausführungsform, gegebenenfalls mit praktischer Erprobung (B) oder schließlich eine umfangreiche Untersuchung, gegebenenfalls mit Prüfungen im Betriebe (C), erforderlich ist. Der Direktor der Abteilung I für Maß und Gewicht der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt entscheidet, in welche Gruppe ein Meßgerät fällt.

II. Gebührensätze.

Die Gebühren betragen für die

	Anmeldung	Prüfung	Zulassung
im Fall A	10	10	20 G.-M.
„ „ B	20	60	100 „
„ „ C	40	200	400 „

C. Gutachten, gutachtliche Äußerungen und Abschriften.

1. Für Gutachten, gutachtliche Äußerungen und die dazu erforderlichen Untersuchungen, soweit sie nicht im unmittelbaren Amtsverkehr mit den Behörden des Eichwesens oder auf Grund amtlicher Anweisung durch die vorgesetzte Zentralbehörde erfolgen, bleibt die Erhebung von Gebühren der Festsetzung im Einzelfall vorbehalten. Für die schriftlichen Angaben werden in diesen Fällen für die Seite Schreibgebühren in Höhe von 0,50 G.-M., in schwierigeren Fällen (Tabellen und ähnl.) von 1,00 G.-M. erhoben.

2. Für Abschriften werden die gleichen Sätze wie unter C. 1. erhoben, bei Abschriften von fremdsprachlichem Text ein Satz von 1,50 G.-M. für die Seite.

Artikel 2.

Die Bestimmungen in Art. 1 treten, unter Aufhebung aller früheren entsprechenden Bestimmungen außer denjenigen für Schiffsvermessungs- und eichamtliche Geräte — vergl. Art. 1, II, 9. a. u. b —, am 1. September 1924 in Kraft.

---

die Einsendung einer größeren Anzahl deutlicher Zeichnungen, aber auch die Vorlage mehrerer betriebsfertigen Stücke verlangt werden. Über die Größe des einzureichenden Stücks, des Modells und der Zeichnungen kann die Reichsanstalt besondere Vorschriften treffen. Sowohl bei Ablehnung eines Antrags, wie bei der Zulassung verbleiben eines der eingereichten Stücke und Modelle sowie die Zeichnungen Eigentum der Reichsanstalt. Erfolgt Zulassung, so kann außerdem die unentgeltliche Überlassung eines Stücks in der endgültigen, in den Verkehr zu bringenden Form verlangt werden.

Nachdruck verboten.

Verantwortlich für die Redaktion: Oberregierungsrat Dr. F. Göpel in Charlottenburg. — Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Kuratorium:

Prof. Dr. D. h. c. **H. Krüss**, Vorsitzender, Prof. Dr. **R. Straubel**,
Prof. Dr. **F. Weidert**, geschäftsführendes Mitglied.

Schriftleitung: Oberregierungsrat Prof. Dr. F. Göpel in Charlottenburg-Berlin.

XLV. Jahrgang. **Februar 1925.** Zweites Heft.

Über ein den Empfindungsstufen des Auges tunlichst angepaßtes Photometer, Stufenphotometer genannt, und über seine Verwendung als Farbmesser, Trübungsmesser, Kolloidometer, Kolorimeter und Vergleichsmikroskop.

Von

Prof. Dr. phil. Dr. ing. h. c. **C. Pulfrich** in Jena.

(Mitteilung aus dem Zeisswerk in Jena.)

(Fortsetzung von Seite 44.)

Die für dieses Verfahren erforderlichen Hilfseinrichtungen sind aus der Zusammenstellung der Versuchsanordnung in Fig. 6 ersichtlich. Sie bestehen im wesentlichen aus den beiden bei G_1 und G_2 einschraubbaren Tauchrohren (TR_1 und TR_2 in Fig. 7), aus dem für die Aufnahme der Flüssigkeit bestimmten Tauchgefäß und der zur Beleuchtung der Flüssigkeit dienenden Lampe.

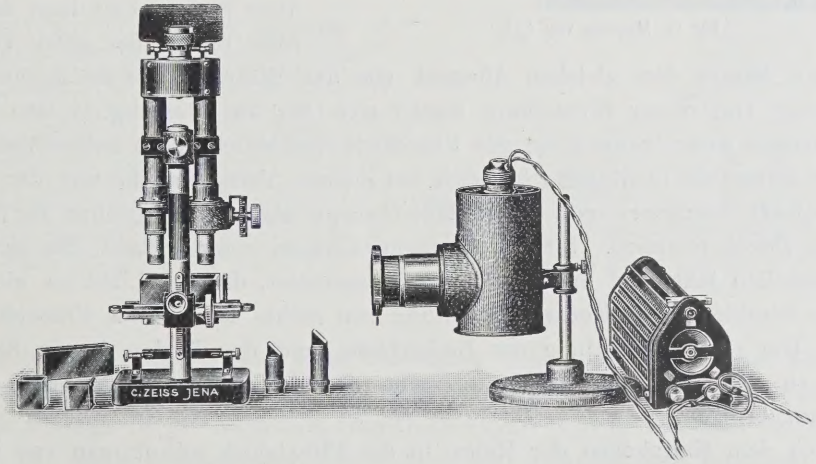


Fig. 6. Der Photometer als Nephelometer usw.

Der Abstand der beiden Tauchrohre ist durch den Abstand der beiden Photometerrohre gegeben, er beträgt bei allen Apparaten übereinstimmend 60 mm. Jedes Tauchrohr ist an seinem unteren Ende durch ein planparallele Glasplatte geschlossen, deren untere Seite zum Abwischen vollständig frei liegt. Das Tauchgefäß hat einen rechteckigen Querschnitt und ist 9 cm lang. Die Bodenplatte und die beiden langen Seitenwände des Gefäßes sind aus mattgeschliffenem, schwarzen Glase hergestellt. Die

beiden Wände an den Enden sind durchsichtige Glasfenster, auf der rechten Seite für den Lichteintritt, auf der linken Seite für den freien Durchblick.

Damit das Gefäß schnell in die richtige Lage zu den beiden Tauchrohren gebracht werden kann, kommt das Gefäß nicht unmittelbar auf den Objekttisch, sondern auf einen Metalluntersatz zu stehen, der durch zwei Stellstifte in feste Verbindung mit dem Objekttisch gebracht wird. Auf dem Untersatz sind zwei Führungsleisten angebracht, zwischen denen sich das Gefäß in der Richtung der Verbindungslinie der beiden Tauchrohre hin- und herschieben läßt. So bleibt für die letzte Orientierung des Tauchgefäßes zu den Tauchrohren nur eine geringe seitliche Verschiebung des Gefäßes aus freier Hand und nach Augenmaß übrig.

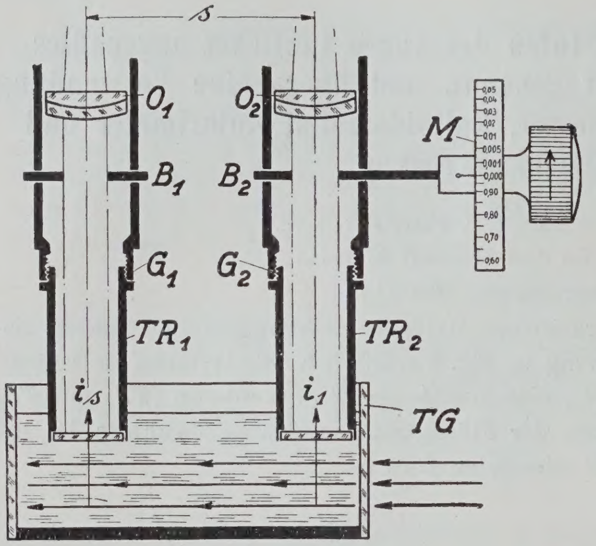


Fig. 7. Messung von i_s/i_1.

Das Eintauchen selbst geschieht durch Heben des Objekttisches mittels Zahn und Trieb. Ein an der Säule angebrachter mm-Maßstab gestattet die Höhe der Flüssigkeitssäule unter dem Tauchrohr zu bestimmen oder eine vorgeschriebene Höhe einzuhalten. Auch nach dem Eintauchen hat das Gefäß nach jeder Seite eine Verschiebungsmöglichkeit von rund 5 mm. Wir benutzen diese Möglichkeit, um das Gefäß so weit nach links zu verschieben, daß das rechte Tauchrohr an der rechten Glaswand des Gefäßes anstößt. Auf diese Weise erhält dann das Tauchrohr rechts bei allen Vergleichsmessungen immer den gleichen Abstand von der Eintrittsstelle des Lichtes. Eine Abweichung von dieser Einstellung macht sich bei der Messung in den Angaben des Apparates sofort bemerkbar, die Vorschrift darf daher nicht unbeachtet bleiben.

Als erregende Lichtquelle hat sich bei meinen Versuchen die von der Osram-Gesellschaft bezogene neue Punktlichtlampe als sehr brauchbar für den vorliegenden Zweck erwiesen. Sie ist in einem Gehäuse untergebracht, das sich in der Höhe verstellen läßt, und mit einer Linse ausgerüstet, die das Licht als ein Bündel paralleler Strahlen in horizontaler Richtung von rechts her in das Flüssigkeitsgefäß schickt. Um eine Beleuchtung der Bodenfläche und der beiden langen Seiten des Gefäßes zu vermeiden, tut man gut, rechts vor das Eintrittsfenster eine passende Blende anzubringen.

Nach dem Eintauchen der Rohre in die Flüssigkeit schaut man von links her in horizontaler Richtung in das Gefäß und sieht zu, ob sich auf dem Boden des Gefäßes und unter den Tauchrohren Luftblasen angesammelt haben, die unbedingt vor der Messung beseitigt werden müssen. Denn jede dieser von dem einfallenden Licht beleuchteten Luftblasen wirkt wie eine punktförmige Lichtquelle vor dem Objektiv des Fernrohrs, in der Austrittspupille also wie eine sehr kleine Durchblicksöffnung. Es treten dann genau die gleichen Störungen im Gesichtsfeld auf, die wir bereits an früherer Stelle als die Folge einer sehr kleinen Austrittspupille erörterten. Die Störungen machen sich übrigens im Gesichtsfeld durch das Auftreten der „flie-

genden Mücken“ derart bemerkbar, daß man nicht einmal immer nötig hat, von der Seite durch das Gefäß zu schauen. Ist eine solche Störung vorhanden, so hat man mit einem umgebogenen Draht- oder Holzstäbchen die unter den Glasplatten und auf dem Boden des Gefäßes sitzenden Luftblasen vor Beginn der Messung zu beseitigen. Denn diese Luftblasen stören nicht allein die Beobachtung, sie fälschen auch die Messung, da die von ihnen erzeugte Helligkeit sich über die ganze Gesichtsfeldhälfte ausdehnt. Es ist daher auch diesem Umstand besondere Aufmerksamkeit zuzuwenden.

Sind so alle Vorbereitungen für die Messung getroffen, so ergibt die Einstellung auf gleiche Helligkeit der beiden Halbkreise das Verhältnis $v = i_s/i_1$, unter i_1 und i_s die Intensitäten des an den beiden Stellen ausgestrahlten und in die Rohre eintretenden Lichtes (siehe Fig. 7) verstanden. Wie bereits oben erwähnt, ist die Färbung der beiden Gesichtsfeldhälften immer die gleiche. Auch ist das Verhältnis v bei allen bisher untersuchten Flüssigkeiten immer kleiner als 1 gefunden worden, m. a. W. in allen Fällen, wo überhaupt eine Ausstrahlung des Lichtes in das Photometer, hervorgerufen durch Absorption, beobachtet wurde, war $i_1 > i_s$.

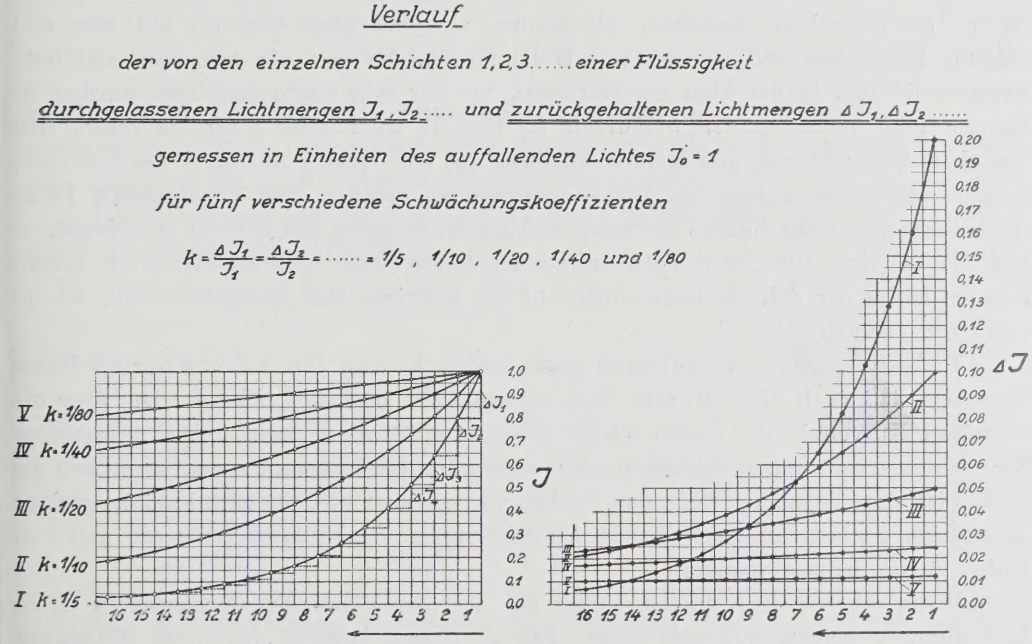


Fig. 8a. Fig. 8b.

Sehen wir uns den Vorgang beim Durchgang des Lichts durch eine absorbierende Flüssigkeit einmal etwas näher an. Mit der vollen Intensität $J_0 = 1$ tritt das Licht in die Flüssigkeit ein. Nach dem Durchlaufen einer Schicht von einer bestimmten Dicke habe das Licht beispielsweise $\Delta J_1 = 1/10$ der ursprünglichen Intensität eingebüßt. Es tritt also mit der verminderten Intensität $J_1 = 0{,}9$ in die zweite Schicht ein, verliert in ihr wiederum $^1/_{10}$, das ist $\Delta J_2 = 0{,}09$, so daß beim Eintritt in die dritte Schicht die Helligkeit bereits auf 0,81 gesunken ist, usw. Man kann dieses Gesetz der Lichtabnahme in einer absorbierenden Flüssigkeit auch so ausdrücken, daß man sagt, das Verhältnis der in jeder einzelnen Flüssigkeitsschicht zurückgehaltenen Lichtmenge ΔJ zur auffallenden J_0 oder, was praktisch dasselbe bedeutet, zur durchgelassenen Lichtmenge J, ist für alle gleich dicken Schichten das gleiche. Natürlich ist dieser Schwächungskoeffizient $\Delta J/J$ nicht für alle Flüssigkeiten der gleiche

und bei farbigen Flüssigkeiten auch von Wellenlänge zu Wellenlänge verschieden. Der größte überhaupt vorkommende Schwächungskoeffizient ist gleich eins, was bedeutet, daß schon gleich in der ersten Schicht alles Licht absorbiert ist. Der andere Grenzwert Null kommt in Wirklichkeit gar nicht vor, da bei jeder Flüssigkeit, ob farbig oder farblos, von einer bestimmten hinreichend großen Dicke an die Durchsichtigkeit aufhört.

Der Verlauf der 5 Kurven in Fig. 8a und 8b läßt erkennen, wie die Abnahme der durchgelassenen Intensitäten J und die Abnahme der in den einzelnen Schichten zurückgehaltenen Lichtmengen ΔJ vor sich gehen. Die Kurven sind berechnet für 5 verschiedene Schwächungskoeffizienten

$$\Delta J / J = {}^1/_5,\ {}^1/_{10},\ {}^1/_{20},\ {}^1/_{40} \text{ und } {}^1/_{80}.$$

Man sieht, daß jede einzelne Kurve für J sich dem Wert Null asymptotisch nähert, so daß theoretisch die letzten Spuren des durchgehenden Lichtes erst verschwinden, wenn der in der Flüssigkeit zurückgelegte Weg unendlich groß geworden ist. Wir können die verschiedenen Schwächungskoeffizienten auf Flüssigkeiten von verschiedener Absorptionskraft beziehen, wir können sie aber auch beziehen auf eine und dieselbe Flüssigkeit und verschiedene Wellenlängen. Nehmen wir z. B. eine verdünnte Fluoreszinlösung, in der blau am stärksten, rot nur sehr wenig absorbiert werden, so ist aus dem Verhalten der 5 Kurven in Fig. 8a zueinander sofort zu sehen, daß der Einfluß der blauen und grünen Strahlen auf das farbige Aussehen der aus einer Schicht von einer bestimmten Dicke austretenden Strahlen mit zunehmender Dicke der Schicht gegen den Einfluß der roten und gelben Strahlen immer mehr zurücktritt, so daß die bei einer dünnen Schicht der Lösung beobachtete blaßrote Farbe mit zunehmender Dicke der Schicht immer mehr in ein kräftiges Rot übergehen muß, wie es auch der Versuch zeigt.

Die mit überhöhten Ordinaten gezeichneten Kurven für ΔJ in Figur 8b lassen erkennen, daß auch diese Kurven sich asymptotisch der Null nähern. Da aber die einzelnen Kurven in der ersten Schicht jedesmal mit einer anderen, mit abnehmendem Schwächungskoeffizienten immer kleiner werdenden Ordinate einsetzen, so rücken sie schließlich für diejenigen Teile des Spektrums, die nur eine verhältnismäßig geringe Absorption erleiden, in ihrer ganzen Ausdehnung an die Nullabszisse heran und verlaufen zu ihr nahezu parallel.

Wenn wir uns jetzt fragen, woher das von der Flüssigkeit ausgestrahlte Licht herkommt, so können wir wohl sagen, daß als dessen Ursache die in der Flüssigkeit zurückgehaltenen Lichtstrahlen anzusehen sind. So bildet die Flüssigkeit infolge selektiver Absorption für die von ihr wieder ausgehenden Strahlen ihr eigenes Farbfilter, und so erklärt es sich auch, daß das ausgestrahlte Licht an den verschiedenen Stellen die gleiche oder doch sehr nahezu die gleiche Färbung besitzt. Die Wirkung des absorbierten Lichtes kann sich freilich in verschiedener Weise äußern, und es ist keineswegs gesagt, daß der volle Betrag des absorbierten Lichtes sich in das neue Licht umwandelt, was schon deshalb nicht der Fall ist, weil nicht jede Absorption von einer solchen Lichtemission begleitet ist. Auch ist zu berücksichtigen, daß das ausgestrahlte Licht, wie z. B. bei den Erscheinungen der Fluoreszenz, mit einer etwas anderen — meist größeren — Wellenlänge auftritt, als dem erregenden Lichte zukommt.

Aber das können wir wohl als richtig ansehen, daß das Verhältnis der ausgestrahlten Lichtmenge i zu der erregenden Ursache ΔJ, also das was wir den Aus-

strahlungskoeffizienten nennen wollen, zwar von Flüssigkeit zu Flüssigkeit und auch von Wellenlänge zu Wellenlänge verschieden ist, aber innerhalb einer gegebenen Flüssigkeit und für eine bestimmte Wellenlänge für jede Schicht den gleichen Wert besitzt. Daraus folgt, daß auch die ausgestrahlte Lichtmenge i, wenn wir sie graphisch auftragen, mit zunehmender Dicke der Schicht einen Verlauf nimmt, der dem Verlauf der Kurven für ΔJ in Figur 8b ganz analog ist. Wir sehen also, wie dies auch der Versuch bestätigt, daß die Menge des ausgestrahlten Lichtes in der Nähe des Lichteintritts (i_1) immer größer sein muß, als an einer weiter abstehenden Stelle (i_s).

Unter der vorstehenden Annahme der Konstanz des Ausstrahlungskoeffizienten

$$\frac{i_1}{\Delta J_1} = \frac{i_2}{\Delta J_2} = \ldots \frac{i_s}{\Delta J_s}$$

könnnen wir somit jetzt schreiben:

$$\frac{i_s}{i_1} = \frac{\Delta J_s}{\Delta J_1},$$

in Worten: das Verhältnis der ausgestrahlten Lichtmengen i_s und i_1 ist gleich dem Verhältnis der an den gleichen Stellen absorbierten Lichtmengen ΔJ.

Des weiteren können wir wegen des Gesetzes der Konstanz des Schwächungskoeffizienten

$$\frac{\Delta J_1}{J_1} = \frac{\Delta J_2}{J_2} = \ldots \frac{\Delta J_s}{J_s}$$

schreiben:

$$\frac{J_s}{J_1} = \frac{\Delta J_s}{\Delta J_1},$$

so daß, immer bezogen auf die gleiche Wellenlänge, auch gesagt werden kann, daß das Verhältnis

$$\frac{i_s}{i_1} = \frac{J_s}{J_1}$$

der von den beiden Stellen ausgestrahlten Lichtmengen i gleich ist dem Verhältnis der von diesen Stellen durchgelassenen Lichtmengen J, immer bezogen auf die gleiche Wellenlänge.

Beim Glanschen Photometer nennen wir den Quotienten J_s/J_1 die „übrig bleibende Lichtmenge“, gemessen durch $J_1 = 1$; und somit ist der negative Logarithmus von $v = i_s/i_1$ das, was wir sonst den Extinktionskoeffizienten der Flüssigkeit nennen. Wir messen also in der Wirkung ihre Ursache. Aus der nebenstehenden Skala (Fig. 9) kann dieser Wert aus dem gefundenenen Wert v direkt abgelesen werden.

Dem Photometer sind ferner zwei über die Tauchrohre zu steckende Überstülprohre (in Fig. 6 rechts neben dem Apparat stehend) mit je einem 90gradigen Prisma am unteren Ende beigegeben worden. Sie haben verschiedene Länge, so daß, wie aus

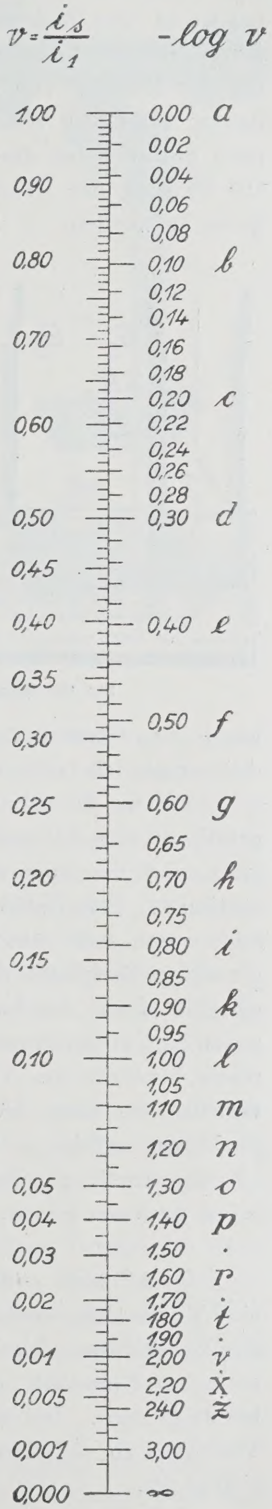


Fig. 9.

der Versuchsanordnung in Fig. 10 ersichtlich, das rechte Prisma dem linken nicht im Wege steht. Wir können also unter Anwendung eines geeigneten Farbfilters das Verhältnis J_s/J_1 direkt messen und mit dem Verhältnis i_s/i_1 vergleichen. Hierbei ist es von Bedeutung, daß jede der beiden vertikal stehenden Prismenflächen, deren Abstand voneinander ebenfalls s ist, tunlichst dahin zu liegen kommt, wo sich bei der Messung von i_s/i_1 die Flüssigkeit unter der Mitte des Rohres befand. Um das zu erreichen, verschieben wir das Gefäß, wie in Fig. 10 angedeutet ist, so weit nach rechts, daß die Gefäßwand links an das Rohr anstößt. Eingehende Versuche zur Prüfung der Übereinstimmung der beiden Verhältniszahlen sind bisher noch nicht gemacht worden.

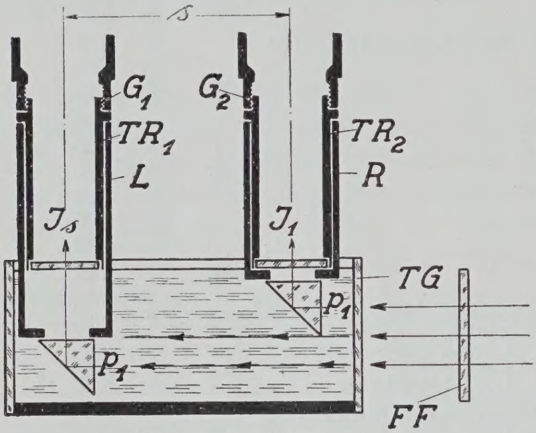


Fig. 10. Messung von J_s/J_1.

Noch auf einen anderen Punkt möchte ich aufmerksam machen. Wir sehen, daß für eine Flüssigkeit mit einem sehr kleinen Schwächungskoeffizienten und dementsprechend mit einem sehr kleinen Ausstrahlungskoeffizienten die Kurve für ΔJ und die Kurve für i nahezu horizontal und in der Nähe von Null gelegen sind. Das Verhältnis i_s/i_1 nähert sich daher immer mehr dem unbestimmbaren Quotienten 0/0, was darin seinen physikalischen Ausdruck findet, daß es bei solchen Flüssigkeiten schwer hält, überhaupt eine Einstellung zu machen. Hier kann nur helfen eine Intensitätssteigerung der erregenden Lichtquelle unter gleichzeitiger Vergrößerung des Abstandes s.

Der für die vorstehend bezeichneten Versuche bestimmte Glastrog faßt bis zu $^2/_3$ gefüllt 50 ccm Flüssigkeit. Für kleinere Flüssigkeitsmengen ist das in Fig. 6 links neben den Apparat gestellte Gefäß mit quadratischer Bodenfläche und 15 ccm Inhalt bestimmt. Das Gefäß kommt unter das linke Tauchrohr zu stehen. Auf die rechte Seite setzt man das ebenfalls aus Fig. 6 erkennbare Gehäuse mit einer unter 45^0 geneigten Glasplatte darin, und zwar entweder so, daß das von der Glasplatte gespiegelte Licht der Lampe direkt in das Photometer geleitet wird, oder zuerst nach unten auf eine darunter gelegte Barytweißplatte, die dann nach oben durch die Glasplatte hindurch das Vergleichslicht dem Rohr zuführt. Eine Messung des Helligkeitsverhältnisses kann hierbei natürlich nur unter Anwendung eines passend gewählten Farbfilters erfolgen. Um das Strahlungsvermögen der Flüssigkeit zu steigern, habe ich das vertikal stehende Glasfenster des Gefäßes links außen mit einem Spiegelbelag versehen lassen, so daß die Flüssigkeit zweimal durchstrahlt wird.

Zum Schluß endlich dieses Abschnittes bringe ich in der nebenstehenden Fig. 11 eine Versuchsanordnung, bei der das Photometer und daher auch die Blickrichtung des Beobachters sich in horizontaler Lage befinden. Das Hilfsmittel dazu ist ein einfaches Kniestück, das, wie aus Fig. 11 ersichtlich, auf der Säule des Apparates befestigt wird. Bei dieser Anordnung muß man dann das vorstehend beschriebene Verfahren so abändern, das die vordere Seite des Glastroges für den Einblick eingerichtet ist.

Aus dieser Anordnung ergeben sich noch eine ganze Reihe von weiteren

Nutzanwendungen, für die die vertikale Lage des Photometers weniger geeignet erscheint. So z. B. wenn es sich darum handelt, die Absorptionswirkung äußerst verdünnter Lösungen mit der von reinem Wasser, beide Flüssigkeiten in relativ sehr langen Gefäßen mit horizontalem Durchblick zu vergleichen, oder wenn es sich darum handelt, zwei Lichtquellen, die rechts und links in gleichem Abstand vom Apparat aufgestellt werden, miteinander zu vergleichen. Die Zuleitung des Lichtes zum Photometer geschieht hierbei durch zwei dem Apparat beigegebene 90°-Reflexionsprismen in Fassung, die man bei G_1 und G_2 einfach einschraubt. Jedes der beiden mit einer einsteckbaren Mattglasplatte versehenen Prismen ist zum Drehen um die Rohrachse eingerichtet und mit einem einfachen Teilkreis mit Index versehen. Dadurch ist weiterhin die Möglichkeit gegeben, das Photometer zum Studium der Helligkeit des Himmels oder eines Innenraumes an verschiedenen Stellen zu verwenden.

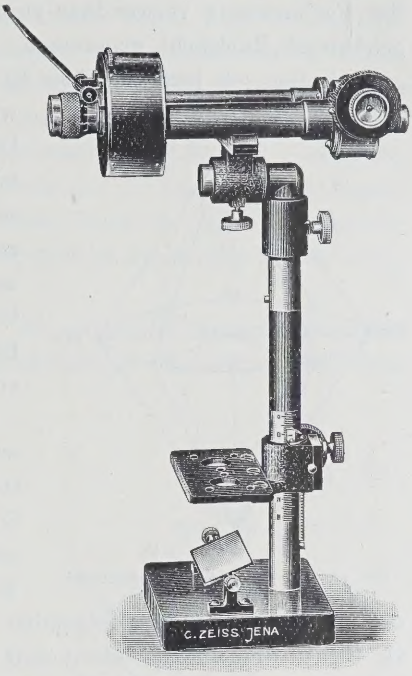


Fig. 11. Das Photometer in horizontaler Lage.

C. Verwendung des Photometers als Farbmesser.

Die Farbe eines Körpers ist durch das dem Körper eigentümliche Absorptionsspektrum physikalisch mehr oder weniger eindeutig bestimmt. Für die praktische Farbmessung oder besser gesagt Farbenvergleichung ist aber dieses Verfahren viel zu umständlich. Hierfür kann es sich nur um die Herstellung von Farbnormen handeln, mit denen dann die zu messenden Farben verglichen werden. Das ist der Weg, den Wilhelm Ostwald eingeschlagen hat. Sein Farbendoppelkegel, in dem die in der Natur vorkommenden Farben in einer sehr übersichtlichen Weise, geordnet nach Farbton, Weißgehalt und Schwarzgehalt, untergebracht sind, hat in Färbereien, Webereien, Papierfabriken und in anderen Industriezweigen, die mit Farben zu tun haben, in den letzten Jahren eine immer größere Beachtung und Nutzanwendung gefunden.

Eine andere Art der Farbmessung, von der man allerdings sehr viel weniger spricht als von der Ostwaldschen, die aber m. E. ebenfalls der größten Beachtung würdig ist, gründet sich auf die bekannte Tatsache, daß jede Farbe durch eine optische, also additive Farbmischung aus Teilen der drei Grundfarben rot, grün und blauviolett zusammengestellt werden kann. Ein auf dieser Grundlage beruhendes synthetisches Verfahren hat Exz. Dr. A. v. Hübl[1]), Wien, angegeben. Auf der gleichen Grundlage beruht das von Herrn Dr. L. Bloch[2]) von den Osramwerken Berlin angegebene analytische Verfahren. In beiden Fällen werden die Farben durch Farbfilter erzeugt.

---

[1]) Dr. A. v. Hübl, Ein Farbenmeßapparat, *Physikal. Zeitschr.* ***18.*** *S. 270—275. 1917.*

[2]) Dr. L. Bloch, Ein Farbenmesser und sein Gebrauch für *Ostwalds* Farbenlehre *Z. f. techn. Physik,* ***4.*** *S. 175—182. 1923.*

Selbstverständlich habe ich in dem Bestreben, das Photometer für die Zwecke der Farbmessung verwendbar zu machen, auch auf diese zweite Art der Farbmessung gebührend Rücksicht genommen.

Indem ich jetzt zu einer für die Leser dieser Zeitschrift vielleicht nicht unerwünschten Beschreibung des Ostwaldschen Farbenkegels übergehe, möchte ich gleich bemerken, daß ich mich hierbei absichtlich jeder Kritik enthalte. Sie sei einem weiteren demnächst in dieser Zeitschrift erscheinenden Aufsatz vorbehalten, in dem ich dann auch über den gegenwärtigen Stand der Bestrebungen berichten werde, die bisher durch Farbstoffe und Farbfilter hergestellte Farbnormen und Farben durch solche aus spektralen Mischfarben zu ersetzen.

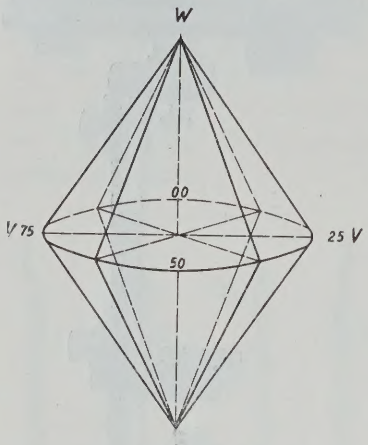


Fig. 12. Der Ostwaldsche Farbenkegel.

Der Ostwaldsche Farbenkegel. Seine Achse wird gebildet von der nach gleichen Empfindungsstufen (siehe *diese Zeitschr. S. 35*) geteilten geradlinigen Graureihe mit W (Weiß) am oberen und S (Schwarz) am unteren Ende. Um zu praktisch brauchbaren Normen zu gelangen, hat Ostwald von den Mittelwerten der aufeinander folgenden Stufen der Graureihe nur die nachstehenden acht als Graunormen zugelassen und wie nachstehend mit Buchstaben bezeichnet:

	a	*c*	*e*	*g*	*i*	*l*	*n*	*p*
$W =$	89	56	36	22	14	8,9	5,6	3,6 %
$S =$	11	44	64	78	86	91,1	94,4	96,4 %.

Da sich nach Angabe von Ostwald bei Farbaufstrichen auf Papier ein tieferes — weißfreieres — Schwarz als p nicht herstellen läßt[1]), so endigt dieser abgekürzte Farbenkegel in seiner unteren Spitze bei S mit einem Weißgehalt für $p = 3{,}6\,\%$ und beginnt an seiner oberen Spitze bei W mit einem Schwarzgehalt für $a = 11\,\%$. Dementsprechend wird der auf Papier hergestellte Farbenkreis mit *pa* bezeichnet mit der Bedeutung, daß der erste Buchstabe p den Weißgehalt und der zweite Buchstabe a den S-Gehalt der als angenäherte Vollfarbe angesehenen Farbe des Farbenkreises bezeichnen.

Der Farbenkreis selbst bildet eine in sich zurücklaufende Reihe der sog. bunten Farben gelb, kreß (orange), rot, violett (purpur), Ublau, Eisblau, seegrün (blaugrün), laubgrün (gelbgrün) und zurück nach gelb (siehe Fig. 13).

[1]) Um einem leicht auftretenden Vorurteil, als wäre p das schwärzeste Schwarz, das man auf Papier erzeugen kann, von vornherein zu begegnen, sei bemerkt, daß es sich bei den Ostwaldschen Farbaufstrichen immer nur um matte, glanzlose Farbaufstriche handelt. Bei einem solchen Farbaufstrich wird der Eindruck der Farbe durch das von der rauhen Oberfläche zerstreut zurückgeworfene weiße Tageslicht mehr oder weniger verwischt. Man braucht nur auf einer grauschwarz aussehenden Fläche einen Tropfen Wasser oder Öl zu verteilen, so sieht die Fläche geradeso wie das Straßenpflaster bei Regenwetter, gleich viel schwärzer aus. Denn jetzt wird das auf die Oberfläche schräg auffallende Tageslicht wie von einem Spiegel in einer bestimmten Richtung zur Seite geworfen; es kann daher bei senkrechtem Aufblick die Farbwirkung nicht mehr beeinträchtigen. Deshalb treten auch bei einer auf Glanzpapier kopierten Photographie die Gegensätze zwischen schwarz und weiß, auf einer angeschliffenen und polierten Fläche eines Steines und auf einem mit Firnis überzogenen Gemälde die Farbwirkung so viel kräftiger zu Tage als ohne diese glänzende Oberfläche. Daher ist es auch leicht verständlich, daß man durch Druckerschwärze und Ölfarben die mit p endigende Reihe obiger Graunormen noch leicht weiter fortsetzen kann.

Für diese Reihe der „bunten“ Farben — bunt im Gegensatz zu den „unbunten“ der Graureihe — wählt Ostwald die denkbar einfachste Form, eine Kreislinie und diese wieder in der denkbar einfachsten Anordnung, da die Graureihe im Mittelpunkt der Kreislinie auf der Kreisebene senkrecht steht und durch sie in zwei gleiche Teile geteilt wird. Auf dem Mantel des oberen Kegels mit der Spitze *W* und dem Farbenkreis als Basis liegen die „hellklaren“, d. h. „schwarzfreien“ Farben — schwarzfrei mit der obigen Einschränkung für den Farbenkreis *pa* — und auf dem Mantel des unteren Kegels mit der Spitze *S* und der gleichen Basis die „dunkelklaren“, d. h. „weißfreien“ Farben. Die „trüben“ Farben sind im Innern des Kegels untergebracht.

Den Farbenkreis selbst teilt Ostwald in 24 angeblich nach gleichgroßen Empfindungsstufen bemessene und nach dem hundertteiligen Farbenkreis bezifferte

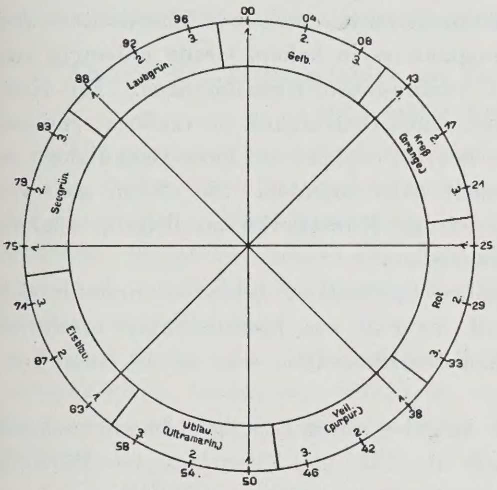


Fig. 13. Der Ostwaldsche Farbenkreis.

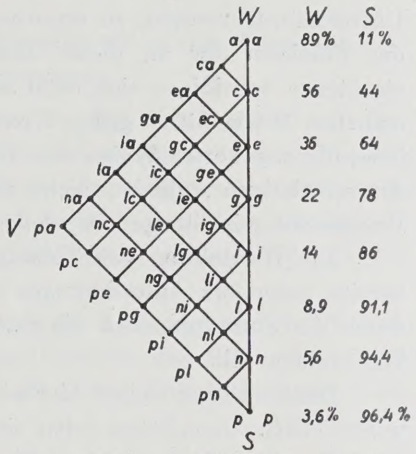


Fig. 14. Ein farbtongleiches Dreieck.

Teile, beginnend mit 00 bei gelb, legt durch jeden dieser Teile eine durch die Graureihe *WS* gehende Ebene und bringt auf dem so entstehenden „farbtongleichen Dreieck“ *VWS* (siehe Fig. 14) die Übergänge der Farbe V zur Graureihe unter. Auf den durch die einzelnen Stufen der Graureihe gezogenen Parallelen zu *VW* eines solchen Dreiecks liegen die „schwarzgleichen“ auf den Parallelen zu *VS* die „weißgleichen“ trüben Farben und auf den Parallelen zu *WS* die „reingleichen“ Farben.

Man sieht, alles ist anscheinend wohlgeordnet, und es können so auf jedem farbtongleichen Dreieck, die Graureihe mit inbegriffen, 36 verschiedene Abstufungen der Farbe nach Weiß und Schwarz und in ganzen Farbenkegel 680 Farben untergebracht, also gewissermaßen katalogisiert werden, wobei der Ort einer jeden Farbe innerhalb dieses Katalogs durch die Nummer des 100-teiligen Farbenkreises und durch die Werte für den *S*- und *W*-Gehalt der Farbe bestimmt ist und daher jederzeit wieder leicht aufgefunden werden kann.

Auch das Verfahren, wie der der Farbe zugehörige Ort im Farbenkegel ermittelt wird, hat Ostwald angegeben. Die von ihm hierfür benutzte Apparatur ist, wie wir gleich sehen werden, von außerordentlich einfacher Natur. In allen drei Fällen der Farbmessung — Bestimmung des *S*- und *W*-Gehaltes und Ermittlung des Farbtones —

wird von der aus Pigmentfarben hergestellten, zu Anfang des Aufsatzes erwähnten Graureihe Gebrauch gemacht. Da diese Graureihe bei unserem Photometer durch eine wesentlich leistungsfähigere optische Einrichtung ersetzt ist, so müssen wir natürlich auch bei der Lösung der vorstehenden Aufgaben suchen, ohne die Ostwaldsche Graureihe auszukommen.

(Schluß folgt).

Die Prüfung der Kreisteilungen von Theodoliten und Universalinstrumenten.

Von
Ing. **Hk. J. Heuvelink,**
Professor der Geodäsie an der Technischen Hochschule in Delft (Holland).

Die bei den Beobachtungen mit Winkelmeßinstrumenten, wie Theodoliten und Universalinstrumenten, zu erreichende Genauigkeit ist in hohem Grade abhängig von der Präzision der an diesen Instrumenten vorhandenen Kreisteilungen. Die Konstrukteure befleißigen sich denn auch dauernd, deren Genauigkeit zu erhöhen, und aus manchen Werkstätten gehen Kreisteilungen hervor, welche in ihrer Genauigkeit in bewunderungswerter Weise der Vollkommenheit nahe kommen. Sie stehen aber vor der schwierigen Aufgabe, nicht nur einige wenige Kunstwerke zu liefern, sondern Präzisions-Kreisteilungen in großer Zahl herzustellen.

Die Herstellung von Teilungen in gleichen Intervallen, welche an und für sich bereits besondere Anforderungen stellt, wird im Fall von Kreisteilungen erschwert durch die Forderung, daß die Summe der gleichen Intervallen sehr genau einen Vollkreis bilden soll.

Die Techniker stehen hierbei vor einer Aufgabe, deren Lösung nicht unterschätzt werden darf. Ohne Scheu rufen sie denn auch die Hilfe und Mitwirkung von Männern der Wissenschaft an, welche auf Grund spezieller Untersuchungen die Wege zeigen, um die Fehler der Teilmaschinen zu ermitteln und die Ursachen dieser Fehler zu beseitigen.

Derartige Untersuchungen sind sehr umfangreich und zeitraubend; sie werden daher nur in beschränkter Zahl ausgeführt.

Es würde keine Veranlassung vorliegen, die Erzeugnisse einer einmal justierten Teilmaschine regelmäßig zu prüfen, wenn auf die dauernd fehlerfreie Wirkung der Maschine vertraut werden könnte. Letzteres ist aber nicht der Fall. Es gibt zu viel Ursachen, welche öfters die Teilungen schädlich beeinflussen. Bei den nach dem mühsamen Kopierverfahren auf ein und derselben Maschine erhaltenen Kreisteilungen wäre eher Gleichmäßigkeit zu erwarten; dieselbe läßt indes noch zu wünschen übrig. In den Erzeugnissen von automatischen Kreisteilmaschinen treten Fehler auf von ganz unerwarteter Art; in Teilungen nach dem halbautomatischen Verfahren, wobei die Wirkung der Maschine während ihrer Arbeit kontrolliert und wenn nötig korrigiert wird, bleiben unerwartete und bis auf schädliche Beträge wachsende Abweichungen nicht immer aus.

Die Benutzer der Kreisteilungen können bis jetzt auf deren Genauigkeit nicht vertrauen, solange diese nicht in jedem einzelnen Fall durch eine besondere Prüfung erwiesen ist.

Diese Feststellung wird nicht angenehm sein für einige Fachleute, welche die Herstellung von genauen Kreisteilungen zum Gegenstand ihrer besonderen Fürsorge

gemacht haben; sie findet aber ihre Begründung in den Resultaten von vielen Prüfungen, welche am Schlusse dieses Aufsatzes mitgeteilt werden.

Die Prüfung kann gerichtet sein auf Feststellung der Leistungsfähigkeit einer Teilung und soll mit einfachen Hilfsmitteln und ohne viel Zeitaufwand durchzuführen sein. Der Nachweis von Fehlerursachen kann Nebensache bleiben.

Das im folgenden beschriebene Verfahren hat sich in der Praxis sehr gut bewährt. Die damit vom Verfasser erhaltenen Resultate eignen sich zur Schaffung einer Übersicht über die Leistungsfähigkeit von Kreisteilungen, welche in den letzten Jahrzehnten von gut bekannten Werkstätten geliefert wurden.

Charakter der Teilungsfehler.

Im allgemeinen setzt sich der Teilungsfehler zusammen aus zwei Komponenten: dem zufälligen Fehler und dem regelmäßigen Fehler, dessen Betrag durch einige Glieder einer Fourierschen Reihe dargestellt werden kann.

Einfluß der Teilungsfehler auf die Beobachtungen mit einem Theodolit oder einem Universalinstrument.

Die gegenwärtigen Präzisionsinstrumente werden im allgemeinen gebaut mit zwei an den Enden eines Durchmessers angeordneten Schraubenmikroskopen zur Ablesung der Kreisteilung; beim Beobachten wird jedes Mikrometer auf zwei nebeneinander stehende Teilstriche eingestellt. Das Mittel aller hierbei gemachten Ablesungen (eventuell unter Berücksichtigung der Run-Korrektion) gilt für die *einfache Ablesung* einer Richtung.

Der Einfluß der Teilungsfehler auf diese einfache Ablesung sei als *Durchmesserfehler* bezeichnet. Er ist es, welcher beim Gebrauch des Instrumentes auftritt und von dessen mittlerem Wert die Genauigkeit der Kreisablesungen beeinflußt wird.

Die hier als *einfache* bezeichnete Ablesung ist frei vom Einfluß der Exzentrizität der Alhidade, und auch frei vom Einfluß der regelmäßigen Teilungsfehler, insofern diese dargestellt werden durch die Glieder der Fourierschen Reihe, welche die ungeraden Vielfachen des Mittelpunktwinkels erhalten.

Der Durchmesserfehler hat also einen zufälligen Teil und einen regelmäßigen Teil, dessen Betrag dargestellt wird durch:

$$a \sin (2\varphi + A) + b \sin (4\varphi + B) + c \sin (6\varphi + C) + \ldots \ldots \quad r),$$

wenn die Kreisablesung zwischen 0^0 und 180^0 am ersten Mikroskop mit φ bezeichnet wird.

Maß für die Leistungsfähigkeit einer Teilung.

Die Leistungsfähigkeit einer Teilung wird gekennzeichnet durch den mittleren Teilungsfehler in der eben definierten einfachen Kreisablesung. Hierbei ist aber zu beachten, daß im Mittel von Beobachtungen in mehreren regelmäßig verteilten Kreislagen die regelmäßigen Teilungsfehler nicht mehr vorkommen. Mit zwei Beobachtungen in um 90^0 verschiedenen Kreislagen verschwindet der Einfluß des durch das erste Glied der Reihe r) dargestellten Teils des regelmäßigen Fehlers; mit vier Beobachtungen in um 45^0 verschiedenen Kreislagen auch der Einfluß des zweiten Gliedes usw.

Die Berechnung des mittleren Teilungsfehlers ohne Berücksichtigung der Reihe liefert den *mittleren totalen Teilungsfehler* (τ); je nachdem die Glieder der Reihe r) berücksichtigt werden, erhält man die Werte der *mittleren zufälligen*

Teilungsfehler (τ', τ'', τ''',...), welche in den Mitteln von bzw. 2, 4 usw. Beobachtungen zu erwarten bleiben.

Die Werte von τ, τ', τ'', τ''',... sind maßgebend für die Leistungsfähigkeit einer Kreisteilung. Das bei der Prüfung zu benutzende Verfahren ist also auf Ermittlung der Zahlenwerte dieser Größen zu richten und soll daher die Gelegenheit bieten, Teilungsfehler und Beobachtungsfehler zu trennen.

Der Verlauf der Werte τ, τ', τ'', τ''',... einer Teilung zeigt unmittelbar, ob die notwendig zu berechnenden Werte von a, b, c,... und A, B, C,... reelle Bedeutung haben oder nicht.

Beobachtungs-Programm.

Ein geeigneter Winkel α wird gemessen in n Lagen des geteilten Kreises, die um den n-ten Teil von 180° auseinander liegen. In jeder Kreislage wird der Winkel mehrfach gemessen, um die unvermeidlichen kleinen Beobachtungsfehler unschädlich zu machen, und außerdem die Gelegenheit zu erhalten, die Teilungs- und Beobachtungsfehler zu trennen. Die Reihe von Kreislagen wird mit Umkehrung ihrer Reihenfolge unmittelbar wiederholt um das Mittel von Hin- und Rückgang von der — hauptsächlich im Laboratorium — zu befürchtenden regelmäßigen Änderung des gemessenen Winkels frei zu machen.

Aus demselben Grund darf eine Reihe nicht zuviel Kreislagen enthalten und sollen die Beobachtungen in sehr regelmäßigem Tempo erfolgen. Die Gesamtprüfung soll daher in mehrere Reihen verteilt werden.

Jeder Winkel wird im Hin- und Rückgang gemessen (Satzmessung). Bei jeder beobachteten Richtung werden je zwei benachbarte Striche mit den beiden Schraubenmikroskopen abgelesen. Die Kreislagen werden derart eingestellt, daß die Ablesungen stets so nahe wie möglich in derselben Stellung der Schraube erfolgen, damit etwa vorhandene Runfehler oder regelmäßige Schraubenfehler später unberücksichtigt bleiben können.

Die Kreislagen werden derart gewählt, daß die innerhalb eines Grades vorkommenden Teilstriche alle gleich oft benützt werden, und daß derselbe Teilstrich nicht in zwei Kreislagen zur Verwendung kommt, damit die Mittelwerte aller in derselben Kreislage gemachten Messungen als völlig unabhängige Größen in die Ausgleichung eingehen. Die Kreislagen werden bezeichnet nach dem ersten Teilstrich, an welchem mit dem ersten Mikroskop beim Einstellen der ersten Richtung eines Satzes abgelesen wird.

Für den Fall, daß eine größere Zahl von Beobachtungen in derselben Kreislage gewünscht wird, kann das Programm wiederholt werden.

Es empfiehlt sich, daß der Hauptbeobachter durch einen Hilfsbeobachter unterstützt wird, der die Ablesungen an einem der Mikroskope vorzunehmen hat, und durch einen sachkundigen Sekretär, der nicht allein die Ablesungen protokolliert, sondern auch während der Messungen die erste Berechnung der gemessenen Winkel durchführt und den regelmäßigen Fortgang der Beobachtungsreihe kontrolliert.

Mit solcher Zusammenarbeit sind bei Horizontalmessungen ohne besondere Anstrengung 70 und mehr einfache Richtungsbeobachtungen in einer Stunde möglich. Da bei Messungen am Vertikalkreis — der sich mit dem Fernrohr dreht — eine größere Zahl von Manipulationen auszuführen sind, und u. a. bei der Drehung des Fernrohrs um die Horizontalachse besondere Vorsicht walten muß, so können deshalb nur etwa 50 einfache Beobachtungen in einer Stunde erwartet werden.

Ein Programm für 36 Kreislagen, verteilt über 4 Reihen zu je 9, kann ohne Beschwerde an einem Tag durchgemessen werden, und es ist öfter vorgekommen, daß die doppelt durchgeführten Berechnungen am Abend desselben Tages fertig vorlagen.

Die Laboratoriums-Einrichtung in der geodätischen Abteilung der Technischen Hochschule zu Delft.

In einem Saal von 8×8 m² Grundfläche und 5,2 m Höhe steht in der Mitte ein vom Fußboden isolierter, in Ziegelsteinen gebauter Beobachtungspfeiler von 1,1 m Höhe mit 70×70 cm² Tischfläche; in einem Kranz stehen in 2,5 m Entfernung weitere Pfeiler von gleicher Höhe. Durch Aufkitten von Steinplatten werden die Pfeiler jedesmal auf die gewünschte Höhe gebracht.

Vor Anfang einer Beobachtungsperiode wird das Tageslicht abgeblendet und im Winter die Heizung abgestellt; bei Vertikalmessungen wird im Saal außerdem ein schräg gestellter elektrischer Ventilator in Betrieb gesetzt, um die Zimmerluft in gleichmäßiger Dichte zu halten.

Von der gewöhnlichen elektrischen Zimmerbeleuchtung wird nur das Nötige benutzt, für die Beleuchtung der Instrumente werden kleine Lampen (6 V, 0,4 A) an eine besondere Leitung angeschlossen.

Als Zielobjekte dienen die einfachen Fadenkreuze, welche auf Diaphragmen von etwa 0,5 mm Öffnung in den Fernrohren von zwei ohne Kreisen ausgeführten Theodoliten angeordnet sind, deren Objektive 32 mm Öffnung bei 250 mm Brennweite haben. In einem am Okular verschraubten Röhrchen befindet sich eine Mattscheibe, deren scharfes Bild mit dem Fadenkreuz zusammenfällt. Sie wird beleuchtet durch eine kleine mit rotem Papier abgeblendete Lampe unter Zwischenschaltung einer Linse.

Die Handlampen, welche zur Beleuchtung der Kreisteilungen benutzt werden, werden bei Messungen an Vertikalkreisen in Stativen fest aufgestellt; für die Trommelablesungen reicht die beschränkte Zimmerbeleuchtung aus.

Auf die im Fernrohr auf rotem Grunde erscheinenden schwarzen Striche läßt sich sehr angenehm einstellen.

Formel-Zusammenstellung für die Ausgleichung der Beobachtungen.

1. Berechnung von $a, b, c, \ldots A, B, C, \ldots$

Das Mittel aller Beobachtungen in derselben Kreislage sei mit p bezeichnet.

Bei der Messung eines Winkels α wird der Kreis abgelesen bei φ und $\varphi + \beta$, wobei β das größte des im Winkel α begriffenen Vielfache eines Teilungsintervalles ist.

Es wird der scheinbare Beobachtungsfehler x im bezüglichen Werte von p:

$$\begin{aligned} x = p - \alpha &+ a \sin(2\varphi + A) - a \sin(2\varphi + 2\beta + A) \\ &+ b \sin(4\varphi + B) - b \sin(4\varphi + 4\beta + B) \\ &+ c \sin(6\varphi + C) - c \sin(6\varphi + 6\beta + C) \quad \text{usw.} \end{aligned}$$

oder:

$$\begin{aligned} x = p - \alpha &- 2a \sin \beta \cos(2\varphi + \beta + A) \\ &- 2b \sin 2\beta \cos(4\varphi + 2\beta + B) \\ &- 2c \sin 3\beta \cos(6\varphi + 3\beta + C) \quad \text{usw.} \end{aligned}$$

Unter Einführung von:

$$\begin{aligned}
+2a\sin\beta\ \cos(\beta+A)&=a_1\\
-2a\sin\beta\ \sin(\beta+A)&=a_2\\
+2b\sin 2\beta\cos(2\beta+B)&=b_1\\
-2b\sin 2\beta\sin(2\beta+B)&=b_2\\
+2c\sin 3\beta\cos(3\beta+C)&=c_1\\
-2c\sin 3\beta\sin(3\beta+C)&=c_2 \quad \text{usw.}
\end{aligned}$$

wird der Ausdruck

$$\begin{aligned}
x=p-\alpha&-a_1\cos 2\varphi-a_2\sin 2\varphi\\
&-b_1\cos 4\varphi-b_2\sin 4\varphi\\
&-c_1\cos 6\varphi-c_2\sin 6\varphi \quad \text{usw.}
\end{aligned}$$

Wenn Beobachtungen in n Kreislagen vorliegen und demnach ebensoviele Fehlergleichungen vorhanden sind, so folgen die wahrscheinlichsten Werte für $\alpha, a_1, a_2, b_1, b_2, c_1, c_2, \ldots$ aus den Normalgleichungen:

$$\begin{aligned}
0=-[p]+n\alpha&+[\cos 2\varphi]\,a_1+[\sin 2\varphi]\,a_2\\
&+[\cos 4\varphi]\,b_1+[\sin 4\varphi]\,b_2\\
&+[\cos 6\varphi]\,c_1+[\sin 6\varphi]\,c_2+\ldots\\
0=-[(p-\alpha)\cos 2\varphi]&+[\cos^2 2\varphi]\,a_1+[\cos 2\varphi\sin 2\varphi]\,a_2\\
&+[\cos 2\varphi\cos 4\varphi]\,b_1+[\cos 2\varphi\sin 4\varphi]\,b_2\\
&+[\cos 2\varphi\cos 6\varphi]\,c_1+[\cos 2\varphi\sin 6\varphi]\,c_2+\ldots\\
0=-[(p-\alpha)\sin 2\varphi]&+[\sin 2\varphi\cos 2\varphi]\,a_1+[\sin^2 2\varphi]\,a_2\\
&+[\sin 2\varphi\cos 4\varphi]\,b_1+[\sin 2\varphi\sin 4\varphi]\,b_2\\
&+[\sin 2\varphi\cos 6\varphi]\,c_1+[\sin 2\varphi\sin 6\varphi]\,c_2+\ldots \quad \text{usw.}
\end{aligned}$$

Die Kreislagen sind derart gewählt worden, daß die Werte von φ sich regelmäßig über den halben Kreisumfang verteilen. Es werden daher:

$$[\cos 2\varphi]=0;\quad [\sin 2\varphi]=0;\quad [\cos 4\varphi]=0;\quad [\sin 4\varphi]=0;\ldots$$

$$[\cos^2 2\varphi]=\frac{n}{2};\quad [\sin^2 2\varphi]=\frac{n}{2};\quad [\cos^2 4\varphi]=\frac{n}{2};\quad [\sin^2 4\varphi]=\frac{n}{2};\ldots$$

$$[\cos 2\varphi\sin 2\varphi]=0;\quad [\cos 2\varphi\cos 4\varphi]=0;\ldots$$

Die Normalgleichungen und zugehörigen Gewichtsgleichungen werden also schließlich:

$$\begin{aligned}
0&=-[p]+n\alpha & nQ_{1.1}&=1\\
0&=-[(p-\alpha)\cos 2\varphi]+\frac{n}{2}a_1 & \frac{n}{2}Q_{2.2}&=1\\
0&=-[(p-\alpha)\sin 2\varphi]+\frac{n}{2}a_2 & \frac{n}{2}Q_{3.3}&=1 \quad \text{usw.}
\end{aligned}$$

und folglich:

$$\left.\begin{aligned}
\alpha&=\frac{1}{n}[p] & Q_{1.1}&=\frac{1}{n}\\
a_1&=\frac{2}{n}[(p-\alpha)\cos 2\varphi] & Q_{2.2}&=\frac{2}{n}\\
a_2&=\frac{2}{n}[(p-\alpha)\sin 2\varphi] & Q_{3.3}&=\frac{2}{n}\\
b_1&=\frac{2}{n}[(p-\alpha)\cos 4\varphi] & Q_{4.4}&=\frac{2}{n}\\
b_2&=\frac{2}{n}[(p-\alpha)\sin 4\varphi] & Q_{5.5}&=\frac{2}{n}\\
c_1&=\frac{2}{n}[(p-\alpha)\cos 6\varphi] & Q_{6.6}&=\frac{2}{n}\\
c_2&=\frac{2}{n}[(p-\alpha)\sin 6\varphi] & Q_{7.7}&=\frac{2}{n}
\end{aligned}\right\} \quad 1) \quad \text{usw.}$$

Weiter hat man:

$$\left.\begin{aligned} \operatorname{tg}(\beta + A) &= -\frac{a_2}{a_1} = \frac{-[(p-\alpha)\sin 2\varphi]}{[(p-\alpha)\cos 2\varphi]} \\ \operatorname{tg}(2\beta + B) &= -\frac{b_2}{b_1} = \frac{-[(p-\alpha)\sin 4\varphi]}{[(p-\alpha)\cos 4\varphi]} \\ \operatorname{tg}(3\beta + C) &= -\frac{c_2}{c_1} = \frac{-[(p-\alpha)\sin 6\varphi]}{[(p-\alpha)\cos 6\varphi]} \end{aligned}\right\} \quad 2)$$

usw.

$$a = \frac{-a_2}{2\sin\beta\sin(\beta + A)} = \frac{+a_1}{2\sin\beta\cos(\beta + A)} = \frac{1}{2\sin\beta}(a_1^2 + a_2^2)^{\frac{1}{2}}$$

$$b = \frac{-b_2}{2\sin 2\beta\sin(2\beta + B)} = \frac{+b_1}{2\sin 2\beta\cos(2\beta + B)} = \frac{1}{2\sin 2\beta}(b_1^2 + b_2^2)^{\frac{1}{2}}$$

$$c = \frac{-c_2}{2\sin 3\beta\sin(3\beta + C)} = \frac{+c_1}{2\sin 3\beta\cos(3\beta + C)} = \frac{1}{2\sin 3\beta}(c_1^2 + c_2^2)^{\frac{1}{2}}$$

usw.

oder für die praktische Berechnung:

$$\left.\begin{aligned} a &= \frac{-[(p-\alpha)\sin 2\varphi]}{n\sin\beta\sin(\beta + A)} = \frac{+[(p-\alpha)\cos 2\varphi]}{n\sin\beta\cos(\beta + A)} \\ b &= \frac{-[(p-\alpha)\sin 4\varphi]}{n\sin 2\beta\sin(2\beta + B)} = \frac{+[(p-\alpha)\cos 4\varphi]}{n\sin 2\beta\cos(2\beta + B)} \\ c &= \frac{-[(p-\alpha)\sin 6\varphi]}{n\sin 3\beta\sin(3\beta + C)} = \frac{+[(p-\alpha)\cos 6\varphi]}{n\sin 3\beta\cos(3\beta + C)} \end{aligned}\right\} \quad 3)$$

usw.

Die Formeln 1), 2) und 3) behalten ihre Gültigkeit, wenn mehrere, aber nur wenig voneinander verschiedene Winkel α auftreten. In diesem Falle ist nur zu beachten, daß die Werte von $(p - \alpha)$ aus den zusammengehörenden Werten von p und α berechnet werden.

2. Berechnung der mittleren Fehler.

Der Fehler in der einfachen Beobachtung einer Richtung setzt sich zusammen aus einem Beobachtungsfehler, dessen mittlerer Wert mit μ und einem Teilungsfehler, dessen mittlerer Wert mit τ, τ', τ'', τ'''... bezeichnet sei, je nachdem der nach r) berechnete regelmäßige Teil desselben gar nicht beachtet, resp. mit 1, 2, 3,... Gliedern in Rechnung gezogen wird.

Es ist also τ der mittlere totale Teilungsfehler in der einfachen Beobachtung einer Richtung, und τ''' der mittlere zufällige Teilungsfehler in derselben.

Der totale Fehler in einem der Winkelwerte p setzt sich ebenso zusammen aus einem Beobachtungsfehler, dessen mittlerer Wert m sei, und einem Teilungsfehler mit dem mittleren Wert t.

Es gilt also:

$$M^2 = m^2 + t^2.$$

Jeder Wert von p entsteht aus den wiederholten Messungen eines Winkels α in derselben Kreislage, wobei also die Teilungsfehler dieselben bleiben. Folglich ist stets, unabhängig von der Anzahl der Wiederholungen:

$$t^2 = 2\,\tau^2$$

oder

$$t^2 = 2\,\tau'^2 \quad \text{usw.,}$$

je nachdem die Glieder der Reihe r) in Rechnung gebracht werden.

Die Beziehung zwischen m und μ folgt aus der Anzahl der einfachen Winkelmessungen, deren Mittel einen Wert von p liefert. Nach dem gegebenen Programm der Beobachtungen entsteht jeder Wert von p aus 4 einfachen Winkelmessungen In diesem Fall ist:

$$m^2 = \tfrac{1}{2}\mu^2.$$

Wenn ohne Berücksichtigung der Reihe r) gerechnet wird, so ist für die Werte p die Fehlerquadratsumme:

$$[x\,x] = [(p - \alpha)^2],$$

und wenn bei n Werten von p, s Werte von α vorkommen, so ist:

$$M^2 = \frac{[x\,x]}{n - s}.$$

Wird das erste Glied der Reihe r) berücksichtigt, so wird die Fehlerquadratsumme:

$$[x'\,x'] = [(p - \alpha)^2] - \frac{2}{n}[(p - \alpha)\sin 2\varphi]^2 - \frac{2}{n}[(p - \alpha)\cos 2\varphi]^2$$

und

$$M'^2 = \frac{[x'\,x']}{n - s - 2}.$$

Wird auch das zweite Glied der Reihe berücksichtigt, so werden die Werte:

$$[x''\,x''] = [(p - \alpha)^2] - \frac{2}{n}[(p - \alpha)\sin 2\varphi]^2 - \frac{2}{n}[(p - \alpha)\cos 2\varphi]^2$$

$$- \frac{2}{n}[(p - \alpha)\sin 4\varphi]^2 - \frac{2}{n}[(p - \alpha)\cos 4\varphi]^2,$$

$$M''^2 = \frac{[x''\,x'']}{n - s - 4} \quad \text{usw.}$$

μ ist zu berechnen aus den Differenzen zweier Winkelmessungen in derselben Kreislage. Wählt man hierzu die Differenzen v zwischen Hin- und Rückgang einer Satzmessung, so hat man erfahrungsgemäß mit einem konstanten Teil γ dieser Differenzen Rechnung zu halten.

Wenn n_a Differenzen vorhanden sind, so wird der konstante Teil:

$$\gamma = \frac{[v]}{n_a}$$

und das Quadrat vom mittleren Werte des zufälligen Teiles:

$$\frac{[v\,v]}{n_a} - \gamma^2.$$

Das Fehlerquadrat ist gleichfalls $4\mu^2$; und folglich:

$$\mu^2 = \frac{1}{4}\left(\frac{[v\,v]}{n_a} - \gamma^2\right).$$

Die Werte von τ, τ', τ'', τ''',... folgen schließlich aus den einfachen Beziehungen:

$$\begin{aligned} \tau^2 &= \tfrac{1}{2}M^2 - \tfrac{1}{4}\mu^2 \\ \tau'^2 &= \tfrac{1}{2}M'^2 - \tfrac{1}{4}\mu^2 \\ \tau''^2 &= \tfrac{1}{2}M''^2 - \tfrac{1}{4}\mu^2 \\ \tau'''^2 &= \tfrac{1}{2}M'''^2 - \tfrac{1}{4}\mu^2 \quad \text{usw.} \end{aligned}$$

Der gefundene Wert von μ ist maßgebend für die Güte der Beobachtungen; die Werte von τ, τ', τ'', τ''',... kennzeichnen die Güte resp. die Brauchbarkeit der Kreisteilung. Dabei ist zu beachten, daß die Werte τ, τ', τ'', τ''',... je den mittleren

Fehler im Mittel von Beobachtungen in bzw. 2, 4, 6,... regelmäßig verteilten Kreislagen darstellen.

Wenn die Beobachtungen zur Prüfung der Teilung in n Kreislagen über l kleinere Reihen von $\frac{n}{l}$ Kreislagen verteilt werden, bekommt man l unabhängige Reihen von Werten von $(p - \alpha)$. Die Vergleichung der Resultate dieser kleineren Reihen, welche sich leicht auf graphischem Wege machen läßt, bietet ein beweiskräftiges Hilfsmittel zur Beurteilung der Brauchbarkeit der Beobachtungen und von der Rechtfertigung der Annahme, daß in die Ausgleichung sämtliche Werte von $(p - \alpha)$ eingeführt werden können, wie Resultate einer einzigen Reihe von Beobachtungen in n Kreislagen.

Verfolgt man die Berechnung des mittleren Fehlers, so bekommt man für die m. F. in $a_1, a_2, b_1, b_2, \ldots$

$$M_{a1} = M_{a2} = M_{b1} = M_{b2} = \ldots = M\sqrt{\frac{2}{n}}$$

und für die m. F. in $a, b, c, \ldots$

$$\begin{aligned} M_a &= M\,\frac{1}{\sin\beta}\sqrt{\frac{1}{2n}}, \\ M_b &= M\,\frac{1}{\sin 2\beta}\sqrt{\frac{1}{2n}}, \qquad\qquad 4) \\ M_c &= M\,\frac{1}{\sin 3\beta}\sqrt{\frac{1}{2n}}, \end{aligned}$$

usw.

Sowohl aus diesen Formeln 4) wie aus den Formeln 3) geht hervor, daß zur Bestimmung von $a, b, c \ldots$ der Wert von β nicht gleichgültig ist. Je mehr der Sinus des betreffenden Vielfachen von β von Eins abweicht, um so weniger genau wird die betreffende Unbekannte gefunden; wenn der Sinus Null ist, so ist die Lösung völlig unbestimmt.

Zu den Werten von $A, B, C, \ldots$ ist zu bemerken, daß diese für den Verfertiger der Teilung nur Bedeutung haben würden, wenn die Lage des Teilungs-Nullpunktes gegen den Nullpunkt der Teilmaschine bekannt wäre. In den mir vorgekommenen Teilungen war dies nicht der Fall.

Die in Tabelle 1 (*S. 78*) zusammengestellten Beobachtungsresultate und deren Berechnung erläutern das beschriebene Verfahren.

Die Berechnung, welche mit einer Maschine ausgeführt wurde, liefert folgende Zahlenwerte:

$$[(p-\alpha)]^2 = 13{,}0968$$

$$[(p-\alpha)\sin 2\varphi] = -5{,}928 \qquad [(p-\alpha)\cos 2\varphi] = -7{,}525$$

$$[(p-\alpha)\sin 4\varphi] = -5{,}403 \qquad [(p-\alpha)\cos 4\varphi] = -0{,}207$$

$$[(p-\alpha)\sin 6\varphi] = +3{,}180 \qquad [(p-\alpha)\cos 6\varphi] = -3{,}574$$

$$\gamma = \frac{[v]}{72} = +0{,}28'' \qquad [vv] = 60{,}1010$$

$$\beta + A = 141^0\,46' \qquad a = 0{,}376'' \quad \pm 0{,}107''$$

$$2\beta + B = 92^0\,12' \qquad b = 0{,}150'' \quad \pm 0{,}075''$$

$$3\beta + C = 221^0\,39' \qquad c = 0{,}188'' \quad \pm 0{,}107''$$

Tabelle 1. Horizontalkreis des 27,5 cm Universalinstrumentes Nr. 53468 von Max Hildebrand in Freiberg in S.

Teilung in $^1/_{12}{}^0$. Direkte Trommelablesung: 1 Sek.

20. Juli 1920. $\alpha = 45^0 + p$. $\beta = 45^0\,0'$.

Nr. des Satzes		Kreislage	Satzmittel		$\frac{1}{2}(p_1 + p_2)$	$p - \alpha$	Differenzen von Hin- und Rückgang	
p_1	p_2	φ	p_1	p_2	p		v_1	v_2
1	18	0° 0′	15,25″	15,83″	15,54″	— 0,46″	+ 1,76″	— 0,14″
2	17	20 40	15,02	14,92	14,97	— 1,03	+ 0,37	+ 0,31
3	16	40 20	14,84	16,22	15,53	— 0,47	+ 1,07	— 0,27
4	15	60 0	15,75	16,03	15,89	— 0,11	— 0,70	— 0,54
5	14	80 40	16,84	16,32	16,58	+ 0,58	+ 0,42	— 0,59
6	13	100 20	16,02	16,76	16,39	+ 0,39	— 1,43	— 0,19
7	12	120 0	16,50	16,38	16,44	+ 0,44	+ 1,13	+ 0,32
8	11	140 40	15,94	16,88	16,41	+ 0,41	+ 0,38	+ 0,37
9	10	160 20	15,91	16,62	16,26	+ 0,26	— 0,02	— 0,47
			52,07	55,96	54,01	+ 2,08	+ 2,98	— 1,20
					9 — α = 16,00	— 2,07		
37	54	5 25	16,36	15,94	16,15	— 0,25	+ 2,47	— 2,32
38	53	25 5	16,32	15,96	16,14	— 0,26	+ 0,08	— 1,33
39	52	45 45	15,60	16,32	15,96	— 0,44	+ 0,34	+ 1,39
40	51	65 25	16,32	17,36	16,84	+ 0,44	+ 0,25	+ 1,07
41	50	85 5	17,38	16,78	17,08	+ 0,68	+ 0,31	+ 0,83
42	49	105 45	15,62	15,91	15,76	— 0,64	— 0,97	— 0,70
43	48	125 25	16,61	17,25	16,93	+ 0,53	+ 0,68	+ 0,60
44	47	145 5	16,99	17,74	17,37	+ 0,97	+ 0,42	+ 1,52
45	46	165 45	15,15	15,66	15,40	— 1,00	+ 0,04	+ 1,47
			56,35	58,92	57,63	+ 2,62	+ 3,62	+ 2,53
					9 — α = 16,40	— 2,59		
19	36	10 50	16,06	15,18	15,62	— 0,74	+ 0,03	+ 0,77
20	35	30 30	15,63	16,47	16,05	— 0,31	+ 1,06	+ 0,60
21	34	50 10	16,18	15,93	16,06	— 0,30	+ 1,40	— 1,26
22	33	70 50	17,00	18,00	17,50	+ 1,14	+ 1,15	+ 0,40
23	32	90 30	16,38	16,91	16,64	+ 0,28	+ 1,09	+ 1,02
24	31	110 10	16,64	16,02	16,33	— 0,03	+ 0,68	+ 0,57
25	30	130 50	16,64	15,70	16,17	— 0,19	+ 0,33	+ 0,48
26	29	150 30	17,54	17,15	17,34	+ 0,98	+ 0,92	+ 0,10
27	28	170 10	15,85	15,29	15,57	— 0,79	+ 0,30	+ 0,08
			57,92	56,65	57,28	+ 2,40	+ 6,96	+ 4,76
					9 — α = 16,36	— 2,36		
55	72	15 15	15,15	15,14	15,14	— 1,04	— 1,44	— 1,08
56	71	35 55	15,34	16,01	15,72	— 0,46	+ 1,45	— 0,06
57	70	55 35	15,67	15,04	15,36	— 0,82	— 0,40	— 0,58
58	69	75 15	16,16	17,12	16,64	+ 0,46	— 0,58	— 0,57
59	68	95 55	16,84	17,16	17,00	+ 0,82	+ 0,07	+ 0,17
60	67	115 35	16,98	16,06	16,52	+ 0,34	+ 1,09	— 0,67
61	66	135 15	16,42	16,07	16,24	+ 0,06	— 0,01	+ 0,70
62	65	155 55	17,24	16,31	16,78	+ 0,60	+ 2,22	+ 0,74
63	64	175 35	16,48	15,92	16,20	+ 0,02	— 0,65	— 0,29
			56,28	54,83	55,60	+ 2,30	+ 1,75	— 1,64
					9 — α = 16,18	— 2,32		

Beobachter: Hk. J. Heuvelink; N. Wildeboer. Sekretär: W. Schermerhorn.
Beobachtungszeiten: h 9.10—10.17; 10.37—11.45; 1.07—2.10; 2.47—3.46.

Periodische Durchmesserfehler der Teilung:

$$0{,}376'' \sin(2\varphi + 96^0 46') + 0{,}150'' \sin(4\varphi + 2^0 12') + 0{,}188'' \sin(6\varphi + 86^0 39')$$

$$\mu^2 = \frac{1}{4}\left(\frac{[vv]}{72} - \gamma^2\right) = 0{,}1892 \qquad \mu = 0{,}44''$$

$$m^2 = \frac{1}{2}\mu^2 = 0{,}0946 \qquad m = 0{,}31''$$

$$[xx] = [(p-\alpha)^2] = 13{,}0968$$

$$[x'x'] = [xx] - \frac{1}{18}\left\{[(p-\alpha)\sin 2\varphi]^2 + [(p-\alpha)\cos 2\varphi]^2\right\} = 7{,}9986$$

$$[x''x''] = [x'x'] - \frac{1}{18}\left\{[(p-\alpha)\sin 4\varphi]^2 + [(p-\alpha)\cos 4\varphi]^2\right\} = 6{,}3744$$

$$[x'''x'''] = [x''x''] - \frac{1}{18}\left\{[(p-\alpha)\sin 6\varphi]^2 + [(p-\alpha)\cos 6\varphi]^2\right\} = 5{,}1030$$

$$\frac{1}{2}M^2 = \frac{[xx]}{2(36-4)} = 0{,}2046$$

$$\frac{1}{2}M'^2 = \frac{[x'x']}{2(36-6)} = 0{,}1333$$

$$\frac{1}{2}M''^2 = \frac{[x''x'']}{2(36-8)} = 0{,}1138$$

$$\frac{1}{2}M'''^2 = \frac{[x'''x''']}{2(36-10)} = 0{,}0981$$

$$\tau^2 = \frac{1}{2}M^2 - \frac{1}{4}\mu^2 = 0{,}1573 \qquad \tau = 0{,}40''$$

$$\tau'^2 = \frac{1}{2}M'^2 - \frac{1}{4}\mu^2 = 0{,}0860 \qquad \tau' = 0{,}29''$$

$$\tau''^2 = \frac{1}{2}M''^2 - \frac{1}{4}\mu^2 = 0{,}0665 \qquad \tau'' = 0{,}26''$$

$$\tau'''^2 = \frac{1}{2}M'''^2 - \frac{1}{4}\mu^2 = 0{,}0508 \qquad \tau''' = 0{,}23''$$

Sprungweise vorkommende Teilungsfehler.

Es kommt vor, daß eine Kreisteilung aus Stücken besteht, welche gegen einander verschoben sind, und auch, daß eine Teilung einen Schlußfehler gegen den Vollkreis hat.

Wenn solche sehr störende Fehler nicht vorher entdeckt wurden, treten dieselben hervor in der zeichnerischen Abbildung der im vorigen genannten Größen $(p-\alpha)$.

Dieselben können nachgewiesen werden aus den Beträgen d, um welche die Ablesungsdifferenzen beider Mikroskope von 180^0 verschieden sind.

d setzt sich zusammen aus der Knickung δ zwischen den beiden Alhidadenarmen, und den mit dem Sinus eines von 0^0 bis 360^0 zählenden Winkels proportinalen Betrag ε. (Einfluß der Exzentrizität.)

$$d = \delta + \varepsilon.$$

Bei regelmäßig über die Teilung verteilten Bestimmungen von d sollen dessen Werte einen stetigen Verlauf zeigen. Sobald aber ein sprungweiser Fehler in der Teilung vorkommt, zerstört derselbe diese Gesetzmäßigkeit. Auf dem betreffenden Stück der Teilung werden in solchem Fall die Bestimmungen von d mit abnehmenden Intervallen zwischen den Kreisstellen verfolgt, bis der Durchmesser, worauf der Fehler vorkommt, gefunden ist.

Nunmehr werden einige aufeinanderfolgenden Teilungsintervalle mit einem der Mikroskope gemessen, und es kann die Stelle des falschen Intervalls mit dem Betrag der Abweichung zum Ausdruck gebracht werden.

Resultate der vom Verfasser ausgeführten Prüfungen.

Im Laufe der Zeit wurden vom Verfasser zahlreiche Kreisteilungen an mit Schraubenmikroskopen ausgerüsteten Instrumenten geprüft. Sämtliche Resultate, welche eine Übersicht von den Leistungen einiger bekannten deutschen Werkstätten geben, sind in Tabelle 2 zusammengestellt.

Soviel dem Verfasser bekannt, wurde in den Werkstätten von Th. Wegener in Berlin, und von Wanschaff, Vater und Sohn, in Berlin, beim Teilen der Kreise nach dem Kopierverfahren gearbeitet. Auffallend ist die Tatsache, daß die von Herm. Wanschaff gelieferten Teilungen zurückstehen gegenüber den auf derselben Maschine geteilten Kreisen seines Vaters, Jul. Wanschaff.

Die Kreise von Max Hildebrand in Freiberg i. S. vertreten die halb-automatischen Teilungen; dieselben von Gustav Heyde in Dresden sind voll-automatisch geteilt worden.

Tabelle 2.

Nr.	Instrument	Hor.- oder Vert.-Kreis	ϕ in cm	Dir. Abl, $''$	Jahr der Teilung	a $''$	b $''$	c $''$	m $''$	τ $''$	τ' $''$	τ'' $''$	τ''' $''$
	Teilung von Pistor und Martins.												
1	Theod.	Hor.	27	1	1866	0,15	0,23	0,50	0,35	0,61	0,62	0,59	0,44
	Teilung von Carl Bamberg.												
2	Nr. 2372	Hor.	14	10	1885	0,40	0,85	0,38	1,53	1,24	1,26	0,85	0,85
	Teilungen von Th. Wegener.												
3	Univ. Nr. 1000 .	Hor.	21	1	1891	—	—	—	0,44	1,96	—	—	0,55
4	Univ. Pistor und Martins, 1. Teil.	Hor.	27	2	1909	3,51	0,63	0,57	0,37	2,82	1,04	0,81	0,70
5	1. „	Vert.	27	2	1909	2,86	1,19	0,37	0,67	2,57	1,46	0,70	0,67
6	2. „	Hor.	27	2	1910	1,39	0,79	0,10	0,29	1,47	1,08	0,67	0,69
7	2. „	Vert.	27	2	1910	1,82	0,15	0,42	0,34	1,52	0,69	0,70	0,64
	Teilungen von Jul. Wanschaff.												
8a	Nr. 1	Hor.	35	1	1887	0,23	0,03	0,18	0,18	0,30	0,27	0,28	0,25
8b	„ 1	Hor.	35	1	1887	0,20	0,06	0,19	0,37	0,29	0,25	0,25	0,21
9	„ 2	Hor.	35	1	1891	0,27	0,22	0,15	0,29	0,47	0,43	0,36	0,34
10	„ 1	Hor.	21	1	1887	0,86	0,53	0,18	0,47	1,00	0,81	0,62	0,64
11	„ 1	Hor.	21	1	1887	0,30	0,16	0,14	0,25	0,41	0,35	0,32	0,31
12	„ 2	Hor.	21	1	1893	0,35	0,11	0,07	0,34	0,42	0,33	0,32	0,33
13	„ 3	Hor.	21	1	1895	0,16	0,14	0,28	0,31	0,36	0,35	0,32	0,24
14	„ 4	Hor.	21	1	1895	1,20	0,11	0,08	0,27	0,95	0,32	0,31	0,31
15	„ 4	Hor.	21	1	?	1,03	0,07	0,11	0,41	0,81	0,26	0,26	0,26
16	„ 4	Hor.	21	1	1897	0,27	0,08	0,14	0,41	0,37	0,32	0,32	0,32
17	„ 5 (original) .	Hor.	21	1	1896	0,50	0,11	0,20	0,29	0,47	0,30	0,29	0,25
18	„ 5 (verletzt) .	Hor.	21	1	1896	2,98	0,67	0,48	0,34	2,40	0,91	0,56	0,43
19	„ 6	Hor.	21	1	1896	0,30	0,08	0,16	0,37	0,29	0,20	0,18	0,15
20	„ 1 (1. Teilung).	Hor.	14	10	1888	0,88	0,43	0,18	0,87	1,03	0,81	0,69	0,73
21	„ 1 (2. „)	Hor.	14	10	1889	0,14	0,49	0,30	0,76	0,86	0,89	0,74	0,74
22a	„ 2	Hor.	14	1	1893	0,84	0,29	0,14	0,64	0,79	0,47	0,36	0,37
22b	„ 2	Hor.	14	1	1893	0,59	0,34	0,15	0,50	0,64	0,64	0,64	0,66
23a	„ 3	Hor.	14	1	1895	0,24	0,21	0,19	0,53	0,52	0,51	0,48	0,47
23b	„ 3	Hor.	14	1	1895	0,23	0,21	0,18	0,55	0,52	0,50	0,47	0,47
24	„ 4	Hor.	14	1	1896	0,77	0,08	0,10	0,54	0,72	0,45	0,46	0,48
25	„ 5	Hor.	14	1	1896	1,02	0,22	0,07	0,66	0,81	0,31	0,21	0,23
26	„ 6	Hor.	14	1	1896	0,51	0,14	0,20	0,55	0,52	0,37	0,35	0,33

Tabelle 2 (Fortsetzung).

Nr.	Instrument	Hor.- oder Vert.-Kreis	ϕ in cm	Dir. Abl. ″	Jahr der Teilung	a ″	b ″	c ″	m ″	τ ″	τ' ″	τ'' ″	τ''' ″
					Teilungen von F. W. Breithaupt & Sohn.								
98	Univ. 31312 . . .	Hor.	18	2	1921	1,42	0,52	0,18	0,65	1,24	0,67	0,38	0,34
99	„ 31312 . . .	Vert.	18	2	1921	1,01	0,29	0,18	0,96	0,99	0,65	0,76	0,88
					Teilungen von Herm. Wanschaff.								
27	Univ. Techn. H .	Hor.	27	1	1904	0,91	0,18	0,18	0,43	0,78	0,39	0,36	0,35
28	„ W. 27 . . .	Hor.	27	1	1910	0,45	0,22	0,38	0,32	0,48	0,35	0,27	—
29	„ W. 27 . . .	Vert.	27	1	1910	0,62	0,37	0,14	0,28	0,69	0,51	0,31	0,31
30	„ W. 21 . . .	Hor.	21	1	1908	1,17	0,37	0,48	0,41	1,11	0,70	0,59	0,48
31	„ W. 21 . . .	Vert.	21	1	1908	1,47	0,43	0,52	0,71	1,29	0,91	0,82	0,62
32	Theod. W. 21 Nr. 5	Hor.	21	1	1910	0,64	0,10	0,24	0,68	0,55	0,28	0,28	0,24
33	Univ. W. 18 Nr. 1	Hor.	18	2	1910	0,38	0,24	0,23	0,49	0,54	0,49	0,44	0,42
34	„ W. 18 Nr. 1	Vert.	18	2	1910	0,82	0,12	0,16	0,58	0,81	0,54	0,55	0,56
35	„ W. 18 Nr. 2	Hor.	18	2	1911	0,71	0,10	0,30	0,44	0,68	0,44	0,45	0,41
36	„ W. 18 Nr. 2	Vert.	18	2	1911	0,44	0,20	0,19	0,56	0,48	0,37	0,33	0,33
37	„ W. 18 Nr. 3	Hor.	18	2	1912	0,63	0,24	0,11	0,49	0,58	0,36	0,28	0,29
38	„ W. 18 Nr. 3	Vert.	18	2	1912	0,29	0,10	0,05	0,36	0,35	0,29	0,29	0,30
43	„ W. 18 Nr. 4	Hor.	18	2	1914	0,32	0,28	0,12	0,41	0,58	0,55	0,44	0,50
44	„ W. 18 Nr. 4	Vert.	18	2	1914	0,62	0,12	0,33	0,50	0,55	0,32	0,32	0,21
45	„ W. 18 Nr. 5	Hor.	18	2	1919	0,43	0,18	0,01	0,66	0,72	0,68	0,68	0,72
46	„ W. 18 Nr. 5	Vert.	18	2	1919	0,74	0,14	0,38	0,55	0,70	0,42	0,42	0,32
					Teilungen von Max Hildebrand.								
39	Nr. 4591	Hor.	18	2	1910	1,12	0,44	0,11	0,78	1,06	0,66	0,48	0,51
40		Vert.	18	2	1910	0,23	0,38	0,19	0,47	0,49	0,48	0,26	0,23
41	„ 10944	Hor.	18	2	1911	0,14	0,12	0,07	0,38	0,19	0,18	0,14	0,16
42		Vert.	18	2	1911	0,54	0,47	0,41	0,62	0,79	0,70	0,51	0,42
47	„ 12088	Hor.	18	2	1913	0,18	0,13	0,15	0,38	0,31	0,30	0,28	0,28
48		Vert.	18	2	1913	0,32	0,26	0,04	0,38	0,45	0,40	0,30	0,31
49	Wegener 276 . .	Hor.	27	1	1913	0,30	0,13	0,14	0,30	0,38	0,32	0,30	0,29
50		Vert.	27	1	1913	0,69	0,02	0,31	0,48	0,59	0,30	0,32	0,23
51	Nr. 13499	Hor.	21	1	1914	0,32	0,21	0,14	0,25	0,42	0,36	0,29	0,28
52		Vert.	21	1	1914	0,57	0,20	0,19	0,30	0,54	0,35	0,29	0,26
53	„ 13500	Hor.	27	1	1914	0,12	0,03	0,10	0,21	0,19	0,17	0,18	0,17
54		Vert.	27	1	1914	0,43	0,14	0,16	0,25	0,47	0,35	0,33	0,31
55	„ 13872	Hor.	27	1	1915	0,17	0,17	0,20	0,26	0,31	0,29	0,23	0,19
56		Vert.	27	1	1915	0,37	0,36	0,22	0,34	0,53	0,47	0,28	0,24
57	„ 53417	Hor.	21	1	1920	0,64	0,16	0,19	0,32	0,62	0,41	0,39	0,38
58		Vert.	21	1	1920	0,94	0,10	0,02	0,33	0,74	0,24	0,23	0,25
59	„ 53468	Hor.	27	1	1920	0,38	0,15	0,19	0,31	0,40	0,29	0,26	0,23
60		Vert.	27	1	1920	0,50	0,36	0,12	0,40	0,54	0,41	0,14	0,14
61	„ 53630	Hor.	18	2	1920	0,28	0,25	0,08	0,38	0,37	0,34	0,23	0,27
62		Vert.	18	2	1920	0,12	0,13	0,46	0,48	0,36	0,39	0,42	0,20
63	„ 53631	Hor.	18	2	1920	0,62	0,10	0,42	0,43	0,69	0,56	0,60	0,54
64		Vert.	18	2	1920	0,80	0,20	0,23	0,46	0,69	0,39	0,37	0,38
65	„ 55430	Hor.	21	1	1921	0,09	0,27	0,09	0,29	0,34	0,35	0,20	0,20
66		Vert.	21	1	1921	0,43	0,53	0,07	0,41	0,64	0,60	0,09	0,15
67	„ 55431	Hor.	21	1	1921	0,34	0,25	0,04	0,29	0,45	0,39	0,30	0,31
68		Vert.	21	1	1921	1,69	0,29	0,34	0,35	1,36	0,54	0,46	0,41
69		Vert.	21	1	1922	0,29	0,24	0,24	0,34	0,44	0,41	0,33	0,28

Bezüglich einiger Teilungen ist folgendes zu bemerken:

Nr. 8a und 8b. Die im Jahre 1887 stattgefundene erste Prüfung wurde im Jahre 1903 wiederholt, nachdem der Theodolit fortwährend bei der niederländischen

Tabelle 2 (Fortsetzung).

Nr.	Instrument	Hor.- oder Vert.-Kreis	ϕ in cm	Dir. Abl. ″	Jahr der Teilung	a ″	b ″	c ″	m ″	τ ″	τ' ″	τ'' ″	τ''' ″
					Teilungen von Gustav Heyde.								
70	Nr. 4095	Hor.	21	2	1913	0,20	0,06	0,14	0,41	0,35	0,34	0,35	0,35
71		Vert.	21	2	1913	0,37	0,06	0,13	0,31	0,38	0,28	0,29	0,28
72	„ 4096	Hor.	18	2	1913	0,23	0,37	0,09	0,53	0,49	0,49	0,30	0,32
73		Vert.	18	2	1913	0,38	0,38	0,06	0,58	0,68	0,65	0,55	0,58
74	„ 4691	Hor.	21	1	1914	—	—	—	—	—	—	—	—
75		Vert.	21	1	1914	—	—	—	—	—	—	—	—
76	„ 4692	Hor.	18	2	1914	0,98	0,29	0,24	0,29	0,84	0,42	0,28	0,23
77		Vert.	18	2	1914	0,86	0,89	0,25	0,45	1,28	1,14	0,61	0,61
78	„ 4693	Hor.	18	2	1914	—	—	—	—	—	—	—	—
79		Vert.	18	2	1914	—	—	—	0,38	1,15	—	—	—
80	„ 4691	Hor.	21	1	1915	0,12	0,29	0,14	0,34	0,38	0,38	0,23	0,22
81		Vert.	21	1	1915	0,11	0,16	0,06	0,38	0,24	0,24	0,18	0,19
82	„ 4692	Hor.	18	2	1915	0,17	0,17	0,19	0,35	0,31	0,29	0,25	0,21
83		Vert.	18	2	1915	0,14	0,13	0,27	0,56	0,18	0,18	0,14	—
84	„ 4693	Hor.	18	2	1915	0,22	0,12	0,24	0,36	0,33	0,31	0,29	0,24
85		Vert.	18	2	1915	0,62	0,16	0,08	0,46	0,50	0,19	0,12	0,14
86	„ 8553	Hor.	18	2	1920	—	—	—	0,53	1,01	—	—	—
87		Vert.	18	2	1920	—	—	—	0,77	1,05	—	—	—
88	„ 8554	Hor.	18	2	1920	—	—	—	0,57	3,34	—	—	—
89		Vert.	18	2	1920	—	—	—	0,78	5,66	—	—	—
90	„ 8555	Hor.	21	1	1920	4,49	1,24	0,23	0,41	3,64	1,44	0,48	0,47
91		Vert.	21	1	1920	—	—	—	0,69	2,93	—	—	—
92	„ 8553	Hor.	18	2	1921	0,15	0,20	0,19	0,48	0,19	0,21	0,09	—
93		Vert.	18	2	1921	0,91	0,27	0,59	0,76	1,12	0,96	1,01	0,97
94	„ 8554	Hor.	18	2	1921	0,76	0,28	0,27	0,43	0,67	0,39	0,29	0,23
95		Vert.	18	2	1921	0,21	0,30	0,05	0,50	0,48	0,51	0,43	0,50
96	„ 8555	Hor.	21	1	1921	0,43	0,40	0,10	0,35	0,55	0,52	0,29	0,29
97		Vert.	21	1	1921	0,55	0,34	0,26	0,38	0,71	0,63	0,54	0,55

Triangulierung erster Ordnung in Betrieb und der Kreis öfters gereinigt worden war. Die Resultate der beiden Prüfungen stimmen sehr gut überein; die periodischen Teilungsfehler sind

nach der Bestimmung von 1887:

$$0{,}231'' \sin(2\varphi + 303^0\,58') + 0{,}029'' \sin(4\varphi + 57^0\,17') + 0{,}184'' \sin(6\varphi + 18^0\,1')$$

und nach der Bestimmung von 1903:

$$0{,}203'' \sin(2\varphi + 271^0\,46') + 0{,}057'' \sin(4\varphi + 114^0\,47') + 0{,}190'' \sin(6\varphi + 26^0\,6').$$

Die Teilung hat sich also nicht merkbar geändert.

Nr. 15 und 15. Diese Teilungen stimmen sehr merkbar überein; die periodischen Fehler sind bei Nr. 14:

$$1{,}195'' \sin(2\varphi + 87^0\,36') + 0{,}108'' \sin(4\varphi + 251^0\,23') + 0{,}085'' \sin(6\varphi + 341^0\,25')$$

und bei Nr. 15:

$$1{,}026'' \sin(2\varphi + 81^0\,54') + 0{,}073'' \sin(4\varphi + 222^0\,22') + 0{,}111'' \sin(6\varphi + 22^0\,38').$$

Laut Mitteilung von Herrn Jul. Wanschaff sollen die Teilungen aber nicht dieselben sein. Ein Versehen ist aber nicht ausgeschlossen; das Instrument bekam einen vollständig neuen Kreis mit der Teilung Nr. 16.

Nr. 17 und 18. Infolge eines Sturzes des Instrumentes bekam der Kreis eine Durchbiegung und war die Teilungsfläche bis 0,3 mm aus der Ebene geraten.

Nachdem der Kreis in die richtige Form zurückgebracht war, erfolgte die Prüfung Nr. 18. Aus letzterer läßt sich nicht auf einen sprungweise vorkommenden Fehler schließen, wohl aber auf den starken periodischen Fehler.

$$2{,}976'' \sin(2\varphi + 19^0 13') + 0{,}670'' \sin(4\varphi + 30^0 14') + 0{,}482'' \sin(6\varphi + 322^0 59').$$

Die Teilung wurde von Nr. 32 ersetzt.

Nr. 22a und 22b. Dieselbe Teilung wurde zweimal geprüft, das eine Mal war der gemessene Winkel 45°, das andere Mal 15°, und letztere wurde unternommen, um zu entscheiden, ob vielleicht eine Verschiebung in der Teilung vorkam; sie konnte nicht nachgewiesen werden. Die Unsicherheit in der Bestimmung der periodischen Fehler bei 22b ist im Verlauf der Werte $\tau \ldots \tau'''$ ersichtlich.

Nr. 23a und 23b. Dieselbe Teilung wurde zweimal geprüft; die 36 Kreislagen wurden bei 23a verteilt über 6 Reihen, jede von 6, bei 23b über 4 Reihen, jede von 9. Die erhaltenen Resultate stimmen in jeder Beziehung.

Nr. 42. Diese Teilung zeigt die Eigentümlichkeit, daß sie aus zwei sehr guten Stücken besteht, welche aber gegeneinander verschoben sind. Wird der Teilungsfehler ohne weiteres als rein periodisch betrachtet, so ist derselbe:

$$0{,}541'' \sin(2\varphi + 181^0 2') + 0{,}474'' \sin(4\varphi + 72^0 38') + 0{,}406'' \sin(6\varphi + 303^0 9')$$

und bekommen $\tau \ldots \tau'''$ die in der Tabelle gegebenen Werte. Wird aber der Fehler als teilweise konstant angenommen, so ist er für φ von 30° bis 70°:

$$-1{,}500'' + 0{,}103'' \sin(2\varphi + 292^0 41') + 0{,}094'' \sin(4\varphi + 161^0 28') + 0{,}178'' \sin(6\varphi + 268^0 42')$$

und für φ von 0° bis 25° und von 75° bis 175° nach derselben Formel unter Weglassung des ersten Gliedes zu berechnen.

Nach Elimination des konstanten Gliedes bekommen τ, τ', τ'', τ''' die Werte: 0,22″, 0,24″, 0,27″, 0,26″. Der Trennungspunkt der beiden Stücke wurde nicht genau ermittelt.

Es hat sich gezeigt, daß ein Gehilfe unglaublicherweise während des Teilens die Entlastungseinrichtung der Teilmaschine verstellt hat.

Nr. 74—79. Die drei Instrumente, worauf diese 6 Teilungen vorkamen, wurden zu gleicher Zeit geliefert. In fünf davon wurden Schlußfehler nachgewiesen; die Abweichungen des fehlerhaften Intervalls gegen das Mittel von fünf benachbarten Intervallen waren:

Teilung Nr.:	74	75	77	78	79
Intervall :	345° 0′—345° 5′		330° 0′—330° 10′		
Abweichung:	—3,5″	—3,9″	—8,9″	—7,9″	—8,0″

In der Teilung Nr. 76 konnte ein solcher Fehler nicht nachgewiesen werden. Dieselbe wurde jedoch ebenso wie die übrigen durch andere ersetzt, und zwar mit sehr gutem Erfolg, wie aus Nr. 80—85 ersichtlich ist.

Nr. 86—91. Auch diese Teilungen wurden auf einmal geliefert. Kurz nach ihrer Absendung aus Dresden wurde die verhängnisvolle Entdeckung gemacht, daß ein altbewährter Meister, der die Teilung hochwertiger Kreise selbst vornahm, plötzlich derart krank wurde, daß er in eine Heil- und Pflegeanstalt für Geisteskranke gebracht werden mußte. Diese traurige Tatsache erklärt die Notwendigkeit, daß die Teilungen durch die Nr. 92—97 ersetzt wurden.

Zusammenfassung der Resultate.

Die Beobachtungen mit verschiedenen Gattungen von Instrumenten sind unter gleichen Umständen ausgeführt worden; die Resultate können daher einen Einblick

geben in den relativen Wert von Teilungen verschiedener Durchmesser und von den in Übereinstimmung mit diesen vorkommenden Instrumenten-Dimensionen.

Bei einer solchen Betrachtung dürfen nur die endgültigen der in Tabelle 2 genannten Teilungen in Rechnung gezogen werden, und empfiehlt es sich, die nur einmal vorkommenden Teilungen von Pistor & Martins, Bamberg und Breithaupt außer Betracht zu lassen.

In dieser Weise wurden für jeden Teilungsdurchmesser die mittleren Fehler in der einfachen Beobachtung einer Richtung berechnet und die Resultate in Tabelle 3 vereinigt. Bei den Beobachtungsfehlern, m, sind dieselbe für Horizontalkreise (m_h) und Vertikalkreise (m_v) auseinander gehalten.

Tabelle 3.

Teilungen von:	35 cm			27 cm				21 cm				18 cm				14 cm		
	m_h	τ	τ'''	m_h	m_v	τ	τ'''	m_h	m_v	τ	τ'''	m_h	m_v	τ	τ'''	m_h	τ	τ'''
	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
Th. Wegener				0,33	0,53	2,18	0,68											
Jul. Wanschaff	0,29	0,39	0,30					0,35		0,39	0,27					0,63	0,69	0,52
Herm. „				0,38	0,28	0,66	0,31	0,56	0,71	1,03	0,47	0,50	0,51	0,61	0,43			
Max Hildebrand				0,27	0,38	0,44	0,23	0,29	0,35	0,54	0,27	0,49	0,49	0,60	0,35			
Gustav Heyde								0,38	0,46	0,46	0,34	0,45	0,62	0,56	0,43			
Mittlerer Wert	0,29	0,39	0,30	0,31	0,36	0,51	0,26	0,37	0,44	0,58	0,32	0,48	0,56	0,59	0,40	0,63	0,69	0,52

Aus der letzten Zeile dieser Tabelle geht hervor, daß der totale Teilungsfehler τ ziemlich regelmäßig steigt mit Abnahme des Kreisdurchmessers, während dies bei dem zufälligen Teilungsfehler τ''' kaum zu bemerken ist. Hieraus wäre zu schließen, daß die zufälligen Teilungsfehler aus Winkelfehlern, die regelmäsigen Teilungsfehler dagegen aus Linearfehlern der Teilmaschine entstehen.

Der Beobachtungsfehler m steigt ohne Zweifel bei Abnahme des Kreisdurchmessers, jedoch nur langsam beim Übergang von 35 cm auf 21 cm Kreise.

Aus diesen Tatsachen ergibt sich die Frage, ob es sich lohnt, bei geodätischen Arbeiten erster Ordnung im Felde die 27 cm-, 35 cm- oder noch größere Instrumente, deren Transport öfter erhebliche Beschwerden hat, zu benutzen. Mit den mehr handlichen 21 cm- oder sogar 18 cm-Instrumenten ist beinahe dieselbe Genauigkeit in der einfachen Beobachtung einer Richtung zu erreichen, und die Einflüsse der äußeren Umstände zur Zeit der Beobachtungen lassen sich durch Vergrößerung der Dimensionen des Instrumentes nicht beseitigen.

Grundlagen für einen Voranschlag der Genauigkeit von Einwägungen II. O. mit einspielender Libelle.

Von

Karl Lüdemann in Freiberg-Sa.

(Mitteilung aus den Werkstätten für wissenschaftliche Präzisions-Instrumente der Max Hildebrand G. m. b. H. in Freiberg-Sa.)

1. Der Voranschlag der mit einem bestimmten Instrument mit Sicherheit zu erzielenden Genauigkeit einer Einwägung II. O. kann nur auf die Leistung des Nivelliergerätes aufgebaut werden. Soweit die außerhalb von Instrument und Latte liegenden, die Genauigkeit der Arbeit mit diesen Gerätschaften beeinflussenden, meist sie herabsetzenden Einflüsse verschiedenster Art sich überhaupt von vornhinein erfassen lassen, müssen sie als Zuschlag oder Minderungsfaktor berücksichtigt werden.

Während es in der Maschinentechnik und in den Preisverzeichnissen der Maschinenindustrie seit langem üblich ist, die Leistung einer Maschine unter bestimmten Voraussetzungen zahlenmäßig anzugeben, sucht man brauchbare Angaben solcher Art in den Preislisten der geodätischen Feinmechanik bislang fast vergeblich. Es sollen daher im nachstehenden für einige Hildebrand-Instrumente die Grundlagen für einen Voranschlag der Genauigkeit von Einwägungen II. O. mitgeteilt werden, die sich natürlich auf gleichartige andere Nivellier-Instrumente übertragen lassen.

2. Die Erfassung der Leistung eines Nivellier-Instrumentes ist an bestimmte einschränkende Voraussetzungen gebunden. So sollen hier nur Einwägungen mit einspielender Libelle und Abschätzung der Lage eines Fadens in dem Zentimeterfeld einer gut geteilten, ein übersichtliches Lattenbild bietenden Nivellierlatte berücksichtigt werden.

Die ein sachgemäß ausgeführtes Instrument kennzeichnenden Zahlenwerte sind der mittlere Abschätzungsfehler m_a an der Latte, der ein Ausdruck der Leistung des in optisch richtigen Abmessungen hergestellten Fernrohres ist, und der aus der Einstellung der Libelle fließende mittlere Fehler m_1. Bezeichnet man mit m_b den mittleren Fehler eines Blickes, so hat man

$$m_b^2 = m_a^2 + m_l^2.$$

3. In der Tafel 1 sind die grundlegenden Angaben über die behandelten Fernrohre zusammengestellt, wobei — wie auch in den übrigen Tafeln — ab und an eine Stelle mehr gegeben ist, als an sich notwendig wäre. Alle Fernrohre mit Ausnahme von Nr. 2 haben den üblichen Okularauszug. Das Fernrohr von Nr. 2 ist abgeschlossen und mit einer inneren Schaltlinse ausgestattet.

Tafel 1. Zusammenstellung der optischen Fernrohrabmessungen.

Lfde. Nr.	Des Objektives Öffnung mm	Des Objektives Brennweite mm	Okular-brennweite mm	Vergrößerung	Austrittspupille mm	Relative Helligkeit	Gesichtsfeld °
1	20	220	11,3	19,5	1,03	1,1	1,7
2	30	180	9,0	20,0	1,50	2,2	2,0
3	29	320	11,3	28,3	1,02	1,0	1,3
4	32	360	11,3	31,9	1,00	1,0	1,2
5	36	400	11,3	35,4	1,02	1,0	1,1
6	40,5	440	11,3	39,0	1,04	1,1	1,1

4. Zur Kennzeichnung der Leistungsfähigkeit eines Fernrohres haben einige Firmen den Begriff der „Sehweite, bei der es möglich ist, die einzelnen Zentimeter an einer Nivellierlatte abzulesen“ gebildet und zahlenmäßig benutzt. Ich habe an anderer Stelle [1] darauf hingewiesen, daß diese „Sehweite“ ein wenig geeigneter Maßstab für die Beurteilung und Bewertung der Leistungsfähigkeit von Nivellierfernrohren ist.

Dagegen kann es für die anschauliche Vorstellung von Wert sein, zu wissen, wie groß die scheinbare Größe der Latteneinheit von 10 mm sich bei verschiedenen Zielweiten dem Auge im Fernrohr bei der „konventionellen Sehweite“ von 25 cm darbietet. Einige Angaben dafür sind in Tafel 2 hingeschrieben.

Da sich in den letzten Jahren in vermessungstechnischen Kreisen wieder ein stärkeres Interesse für das von Ch. A. Vogler angegebene Nivelliertachymeter und für sogenannte Universal-Nivellier-Instrumente zeigt, habe ich in Tafel 2 auch noch die scheinbaren Größen für das dcm-Intervall einer Latte und für einige größere Zielweiten angegeben.

Tafel 2. Scheinbare Größe der Latteneinheit.

Lfde. Nr.	Latteneinheit 10 mm = 1 cm, Zielweite in m				Latteneinheit in 100 mm = 1 dcm, Zielweite in m			
	25 mm	50 mm	75 mm	100 mm	100 mm	150 mm	200 mm	250 mm
1	1,95	0,98	0,65	0,49	4,88	3,25	2,44	1,95
2	2,00	1,00	0,67	0,50	5,00	3,33	2,50	2,00
3	2,83	1,42	0,94	0,71	7,08	4,72	3,54	2,83
4	3,19	1,60	1,06	0,80	7,98	5,32	3,99	3,19
5	3,54	1,77	1,18	0,88	8,85	5,90	4,42	3,54
6	3,90	1,95	1,30	0,98	9,75	6,50	4,88	3,90

5. Der eigentliche Maßstab für die Leistungsfähigkeit eines Nivellierfernrohres ist aber für uns der mittlere Abschätzungsfehler m_a im Zentimeterfeld bei verschiedenen Zielweiten. Mit ihm haben sich viele Forscher beschäftigt, von denen ich hier nur W. Jordan, R. Wagner, G. Kummer und C. Reinhertz nennen will.

Die umfangreichen Beobachtungsergebnisse von C. Reinhertz und G. Kummer hat 1914 O. Eggert [2] nochmals vorgenommen und daraus folgenden Ausdruck, in dem v die Fernrohrvergrößerung und s die Zielweite (in m) bezeichnen, für m_a (in mm) abgeleitet:

$$m_a = \pm\left(0{,}136\,\frac{s}{v} + 0{,}292\right). \qquad 1)$$

Dieser Ausdruck stimmt gut mit Beobachtungen und Berechnungen von Fr. Lorber überein, die dieser schon 1894 bekannt gegeben hat [3 *S. 283*].

H. Hohenner [4] hat ebenfalls die Ergebnisse früherer Forschungen und eigener Beobachtungen erörtert und dabei erhalten:

$$m_a = \pm\left(0{,}19\,\frac{s}{v} + 0{,}2\right). \quad [4\ S.\,370] \qquad 2)$$

Ich selbst [5] fand für ein Nivellierinstrument mit Fernrohr Nr. 4, aber mit $v = 36$, für Zielweiten von 10 bis 80 m und für günstige äußere Verhältnisse

$$m_a = \pm\left(0{,}165\,\frac{s}{v} + 0{,}177\right). \quad [5\ S.\,296] \qquad 3)$$

Damit findet man für $s = 50$ m und $v = 32$

aus Gleichung	1)	2)	3)
	$m_a = \pm\,0{,}505$	0,497	0,435 mm.

Mit der von O. Eggert errechneten Beziehung 1) ist die Tafel 3 berechnet worden, in der die Fernrohre Nr. 1 und 2 als gleichwertig erscheinen, obwohl Nr. 2 das wirkungsvollere ist. Leider wissen wir über den Einfluß der Helligkeit eines Fernrohres auf die Größe von m_a bislang noch sehr wenig[1]).

Tafel 3. Mittlerer Abschätzungsfehler m_a.

Lfd. Nr.	Fernrohr-Nr.	v	Zielweite s in m: 20 mm	35 mm	50 mm	65 mm	80 mm
1	1, 2	20	± 0,428	± 0,530	± 0,632	± 0,734	± 0,836
2	3	28	389	462	535	608	680
3	4	32	377	441	505	568	632
4	5	35	370	428	486	545	603
5	6	39	362	414	466	519	571

[1]) Umfangreiche und langjährige eigene Untersuchungen an Fernrohren über die Abhängigkeit der mittleren Fehler der Abschätzung, Einstellung und Zielung von den optischen Abmessungen konnte ich bislang noch nicht abschließen.

6. Zu dem Schätzungsfehler m_a tritt bei dem Meßverfahren mit einspielender Libelle noch der mittlere Fehler m_l hinzu, mit dem man der Zielachse des Fernrohres eine feste Richtung im Raum — und zwar die horizontale — geben kann. C. Reinhertz [6 *S. 350*, 7 *S. 272*] hat bei seinen umfangreichen Untersuchungen über Libellen m_l (in Bogensekunden) für das Einstellen der Libelle auf den Spielpunkt erhalten zu

$$m_l = \pm 0{,}09 \sqrt{A}\,,$$

worin A die Angabe der Libelle auf 1 Pariser Linie in Bogensekunden bedeutet.

Damit hat man m_l linear (in mm) zu

$$m_l = \pm 0{,}00044 \sqrt{A} \cdot s\,,$$

womit die Angaben der Tafel 4 errechnet sind.

Tafel 4. Mittlerer Libelleneinstellungsfehler m_l und mittlerer Blickfehler m_b.

Lfde. Nr.	Fernrohr-Nr.	A	m_l					m_b				
			Zielweite s in m					Zielweite s in m				
			20	35	50	65	80	20	35	50	65	80
		"	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1	1	25	±0,044	±0,077	±0,110	±0,143	±0,176	±0,430	±0,536	±0,642	±0,748	±0,854
2	2	22,5	42	73	104	136	167	430	535	641	746	853
3	3	17,5	37	64	92	120	147	391	466	543	620	696
4	4	11	29	51	73	95	117	378	444	510	576	643
5	5	7	23	41	58	76	93	371	430	489	550	610
6	6	5	20	34	49	64	79	363	415	469	523	576

Tafel 4 zeigt, daß m_l gegenüber m_a stets klein ist.

7. Nunmehr besteht die Möglichkeit, den mittleren Fehler m_b eines Blickes zu berechnen aus

$$m_b^2 = m_a^2 + m_l^2$$

oder zahlenmäßig und abgerundet

$$m_b^2 = 0{,}08 + 0{,}08 \frac{s}{v} + 0{,}02 \frac{s^2}{v^2} + 0{,}000\,000\,194\, A s^2. \qquad 4)$$

Die für die einzelnen Zielweiten nach 4) errechneten m_b sind in der Tafel 4 nachgewiesen.

8. Für ein Nivellier-Instrument mit der Fernrohrvergrößerung v, der Libellenangabe A und bei Benutzung einer Nivellierlatte mit der Teilungseinheit 10 mm ergibt sich die günstigste Zielweite s_g nach O. Eggert [2. *S. 251*] aus

$$s_g = \frac{20{,}94\, v}{\sqrt{95{,}4 + 0{,}001\, A\, v^2}}.$$

Damit sind die s_g der Tafel 5 berechnet.

Tafel 5. Günstigste Zielweite und mittlerer Kilometerfehler m_k.

Lfd. Nr.	Fernrohr-Nr.	v	A	s_g	m_k	
					Zielweite	
					s_g	s_{50}
			"	m	mm	mm
1	1	20	25	41	± 2,85	± 2,87
2	2	20	22,5	41	2,85	2,87
3	3	28	17,5	56	2,43	2,43
4	4	32	11	65	2,26	2,28
5	5	35	7	72	2,15	2,19
6	6	39	5	80	2,04	2,10

9. Um die beste Leistung eines Nivellier-Instrumentes zu erreichen, ist es nicht erforderlich, s_g streng innezuhalten. In der Regel verwendet man in der Praxis die Zielweite $s_{50} = 50$ m. Für diese beiden Zielweiten ist der mittlere Kilometerfehler m_k der einmal — in einer Richtung — eingewogenen 1 km-Strecke aus

$$m_k = \sqrt{\frac{1000}{s} \cdot m_b^2}$$

errechnet und in Tafel 6 angegeben worden. Ein für technische Einwägungen nennenswerter Unterschied zeigt sich bei m_k mit s_g und s_{50} nicht, zumal wenn man berücksichtigt, daß für die Einwägungen II. O. hauptsächlich die Fernrohre Nr. 3 bis 5 in Frage kommen. Fernrohr Nr. 6 gehört zu Feinnivellierinstrumenten, während die Fernrohre Nr. 1 und 2 meist bei kleineren Instrumenten für Nivellements III. O. und ähnliche Arbeiten benutzt werden.

10. Vergleicht man die für m_k bei s_{50} für die Fernrohre 3 bis 5 gefundenen Werte

Fernrohr	Nr. 3	Nr. 4	Nr. 5
m_k	$\pm$ 2,4	$\pm$ 2,3	$\pm$ 2,2 mm

miteinander und bedenkt man, daß jedes Fernrohr bei vier verschiedenen Instrumentformen

A. Fernrohr mit seinen Lagern fest verbunden:
  a) ohne Kippschraube;
  b) mit Kippschraube;

B. Fernrohr in seinen Lagern drehbar:
  a) ohne Kippschraube;
  b) mit Kippschraube

Verwendung findet, so wird man erkennen, daß die Bedürfnisse des praktischen Vermessungswesens bei weitem nicht die jetzt vorhandene große Anzahl von verschiedenen Formen und Größen von Nivellier-Instrumenten erfordern, die die geodätische Feintechnik unter dem Druck des gegenseitigen Wettbewerbes heute herstellt. Würde von jedem Vermessungsingenieur die wahre Wertigkeit eines Nivellier-Instrumentes scharf erkannt, so wäre es möglich, billige Nivellier-Instrumente zu fertigen, die ein Ausdruck der höchsten feinmechanischen Leistung, Wirtschaftlichkeit, Betriebszuverlässigkeit und praktischer Eignung sind. Es liegt also bei den Nivellier-Instrumenten gerade so wie bei den Theodoliten [8].

11. Um vor Fehlschlüssen bewahrt zu bleiben, ist es nötig, stets zu beachten, daß bei der Errechnung der m_k lediglich die „Ablesegenauigkeit an der Latte und die Einstellgenauigkeit an der Libelle berücksichtigt sind, während alle anderen Fehlerquellen sich der theoretischen Behandlung entziehen“ [2 *S. 252*].

Um über die Größe des Einflusses der ziemlich hohen Zahl dieser anderen Fehlerquellen ein Urteil zu gewinnen, seien aus einigen eigenen Einwägungen II. O. [**5**, 9, **10**], die rd. 100 km nivellierte Strecke umfassen, einige Zahlen mitgeteilt.

Das benutzte Instrument von M. Hildebrand in Freiberg-Sa. hatte ein Fernrohr Nr. 4, aber mit einer Vergrößerung $v = 36$. Die Libellenangabe war 10,3″. Als mittlere Zielweite konnte des bergigen Geländes wegen nur 27 m genommen werden.

Aus eingehenden Untersuchungen [**5**] des Fernrohrs fand ich

$$m_{b_1} = \pm 0{,}31 \text{ mm},$$

während sich nach der von O. Eggert [2] aufgestellten Beziehung 1) errechnet

$$m_{b_2} = \pm 0{,}39 \text{ mm}.$$

Beobachtet wurde mit einer Wendelatte, so daß die regelmäßigen, von der Intervallstelle abhängigen Schätzungsfehler getilgt sind.

Damit errechnet sich der mittlere Fehler m_w der einmal mit einer Wendelatte eingewogenen 1 km-Strecke

mit $m_{b_1} = \pm 0{,}31$ mm, $m_{b_2} = \pm 0{,}39$ mm

zu $m_{w1} = \pm 1{,}30$ mm, $m_{w2} = \pm 1{,}70$ mm.

Aus den praktischen Messungen [5, 10] fand sich $m_w = \pm 1{,}94$ mm. Damit hat man

$$\frac{m_w}{m_{w1}} = 1{,}49, \qquad \frac{m_w}{m_{w2}} = 1{,}14\,.$$

Legt man die mit einer einfachen Latte eingewogene 1 km-Strecke zugrunde, so erhält man $m_{k2} = \pm 2{,}4$ mm und aus den praktischen Messungen $m_k = \pm 2{,}75$ mm.

Geht man davon aus, daß die Formel 1) von O. Eggert [2] mittlere Fernrohr- und Beobachtungsverhältnisse richtig darstellt, was nicht zweifelhaft ist, so wird man die damit errechneten m_k mit etwa 1,25 zu multiplizieren haben, um Werte zu erhalten, die bei praktischen Einwägungen II. O. ohne Schwierigkeiten mit Sicherheit eingehalten werden können, sofern nur zur Ausschaltung von im Voranschlag rechnerisch nicht erfaßten regelmäßigen und unregelmäßigen Fehlereinflüssen diejenigen Maßnahmen getroffen werden, die bei wirtschaftlich richtig durchgeführten Einwägungen II. O. notwendig und üblich sind.

Freiberg-S., im November 1924.

Angezogene Schriften.

1. K. Lüdemann: Ein ungeeigneter Maßstab für die Beurteilung und Bewertung der Leistungsfähigkeit von Nivellierfernrohren. *Central-Ztg. f. Opt. u. Mech.* ***44.*** *S. 248—251. 1923.*
2. O. Eggert: Die Zielweite beim Nivellieren. *Zeitschr. f. Vermw.* ***43.*** *S. 249—252. 1914.*
3. Fr. Lorber: Das Nivellieren (Wien 1894).
4. H. Hohenner: Über das Zielen mit dem Zielfernrohre und das Abschätzen der Lage des Zielfadens auf Teilungen. *Zeitschr. f. Vermw.* ***44.*** *S. 357—376. 1915.*
5. K. Lüdemann: Über den Gebrauchswert eines mittleren Nivellierinstrumentes von Max Hildebrand. *Der Landmesser* ***7.*** *S. 293—299, 313—318. 1919.*
6. C. Reinhertz: Mitteilungen über einige Beobachtungen an Libellen. *Diese Zeitschr.* ***10.*** *S. 309—323, 347—360. 1890.*
7. C. Reinhertz: Mitteilungen über einige Beobachtungen an Libellen. *Zeitschr. f. Vermw.* ***20.*** *S. 257—279. 1891.*
8. K. Lüdemann: Grundlagen für den Voranschlag der Genauigkeitsleistung von einigen Theodoliten. *Diese Zeitschr.* ***44.*** *S. 555 1924.*
9. K. Lüdemann: Einige Mitteilungen über eine Einwägung II. O. *Der Landmesser* ***1.*** *S. 243—245. 1913.*
10. K. Lüdemann: Mitteilung über einige Einwägungen II. O. *Allg. Verm. Nachr.* ***26.*** Teil I, *S. 137—143,* Teil II, *S. 438—449. 1914.*

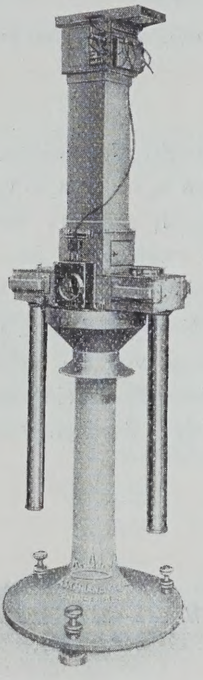
Die Brauchbarkeit von Drehwagen im Felde.

Von

Dr. **C. Heiland** in Berlin.

Vor einigen Jahren hat Herr Prof. Dr. W. Schweydar (1) in dieser Zeitschrift eine neue Form der Eötvösschen Drehwage beschrieben, die von der Firma Carl Bamberg in Berlin-Friedenau gebaut worden war. Der Fortschritt gegenüber

den Eötvösschen Instrumenten bestand darin, daß — ähnlich wie bei der von O. Hecker (2) beschriebenen Drehwage des Institutsmechanikers M. Fechner in Potsdam — die automatisch-photographische Registrierung in Anwendung kam, wobei indessen die photographische Platte nicht seitlich an den Wagekästen, sondern unter Wahrung der Symmetrie und erheblicher Steigerung der Ablesegenauigkeit über den Torsionsköpfen angebracht wurde. — Es setzte dann eine ausgedehnte Diskussion (3 bis 8) darüber ein, ob visuelle oder photographische Ablesung bei Feldmessungen mit der Drehwage vorzuziehen sei.



Inzwischen ist die in Rede stehende Drehwage noch wesentlich verbessert worden; über die neueste Form (s. Figur) habe ich kürzlich berichtet (9). Zunächst ist der automatische Transport des Oberbaues jetzt so ausgeführt, daß sich auf der einen Längsseite des Wagekastens eine Kontaktuhr befindet, die alle Stunden (neuerdings nach Wahl auch in kürzeren Intervallen) die Registrierlämpchen je eine Minute aufleuchten läßt und danach in dem auf der anderen Kastenseite symmetrisch montierten Antriebswerk elektromagnetisch einen Anschlagstift von einer der in die Grundplatte je nach Wahl der Beobachtungsazimute eingeschraubten Anschlagnasen abhebt. Damit ist die Drehung in das nächste Azimut freigegeben. Der oben erwähnte Anschlagstift besitzt nicht nur vertikale Führung, sondern ist zusammen mit dem Elektromagneten um eine horizontale Achse nach vorn und hinten im geringen Masse drehbar und greift mittels eines weiteren Hebels direkt in die Bewegung des im Triebwerk befindlichen Windflügels ein, so daß beim Anfahren an den nächsten Anschlag der Oberbau nicht ruckweise zum Stehen kommt. Die elektromagnetische Auslösung kann auch derartig durch eine mechanische ersetzt werden, daß die Kontaktuhr mittels eines unter dem Kasten durchgeführten Gestänges den Anschlagstift aushebt. Es sind natürlich genaue Untersuchungen darüber angestellt worden, daß der Gang der Kontaktuhr die Einstellung der Wage nicht beeinflußt. Am Torsionskopf der Wage befindet sich eine Hülse, in die man Taschenlampen-Batterien einsetzen und somit von äußerer Stromzuführung ganz unabhängig werden kann. Indessen ist neuerdings auch vorgesehen, den Strom mittels Schleifkontakten durch die Anschlagplatte zuzuführen. Auch äußerlich hat das jetzige Modell ein etwas anderes Ansehen, als das von W. Schweydar beschriebene, da die äußere Umhüllung der Torsionsröhren vierkantig und im Zusammenhang damit auch die Anordnung der Beleuchtungsvorrichtung parallel zur Längsrichtung des Wagekastens geworden ist. Die Beleuchtungsstärke der Lämpchen läßt sich an Widerständen regulieren. Die Platte kann bei Tageslicht gewechselt werden. Der Oberbau ist mit vier Handgriffen bequem von der Anschlagplatte abzuheben; sollen bei geringerem Stationsabstand die Hängeröhren nicht abgeschraubt werden, so wird neuerdings eine Arretierung der hängenden Gewichte durch ein System von zwei Irisblenden ermöglicht. Bei äußerst ungünstigen klimatischen Verhältnissen läßt sich der ganze Apparat in einen Daunenschutz einpacken; für ungehinderte Drehung ist dann ein Schutzkorb am Anschlagskreis zu befestigen. Bei Verwendung des Daunenschutzes wird unter normalen Verhältnissen manchmal sogar ein besonderes Beobachtungshaus entbehrlich. Bei Platten- oder Strommangel

lassen sich die Lämpchen bequem durch kleine Stutzen mit Mattscheibe und Fadenkreuz ersetzen, so daß auf der visuellen Skala große helle Kreise mit dunklem Kreuz erscheinen und eine besondere Beleuchtung derselben überflüssig wird.

Es mag gestattet sein, an dieser Stelle über die Leistungsfähigkeit der bisher gebräuchlichen Drehwagen-Typen bei Feldmessungen einiges mitzuteilen. Weit mehr als bei anderen physikalischen Instrumenten kommt es hier auf Zweckmäßigkeit der Konstruktion und Genauigkeit der Ausführung an, da in Anbetracht der Kleinheit der zu messenden Größen in jeder Beziehung darauf gesehen werden muß, den Schwingungsraum vor Temperaturschwankungen und den durch sie bedingten Luftströmungen zu schützen. Ebenso ist es nicht gleichgültig, welche Dimensionen man dem Instrument gibt. Die höchsten Anforderungen der Praxis (schwache Antiklinalen z. B.) verlangen in den Gradienten eine Schärfe von 1 bis $2 \cdot 10^{-9}$ CGS, was die von Eötvös vorgeschlagene Größe der Drehwage gerade angibt. Die bisherigen Versuche, bei Verringerung der Dimensionen die gleiche Empfindlichkeit auf Kosten einer reduzierten Torsionsfadenstärke zu erzielen, haben weder seinerzeit bei Eötvös noch neuerdings bei Hecker zu ganz befriedigenden Resultaten geführt, weil sich einerseits bei dünnen Drähten Inhomogenitäten des Materials stärker bemerkbar machen und andererseits sowohl der infolge der geringeren Tragkraft des Aufhängedrahtes notwendigerweise mit leichteren Gewichten belastete Wagebalken in Anbetracht seiner geringeren Masse als auch der kleineren Fadendrillkraft weit eher durch Luftströmungen beeinflußt wird.

Bei der Beurteilung des Instrumentes spielt noch die Frage der Ablesegenauigkeit eine Rolle. Eötvös verwendete Fernrohr und Skala, die mittels weit ausladender Träger an jeder Schmalseite der Wagekästen angesetzt waren. Fechner bringt unter Aufgabe der visuellen Beobachtungsmöglichkeit die photographische Kassette wesentlich dichter an die Kästen heran, wobei der Gewichtsausgleich durch ein Gegengewicht oder eine Blindkassette geschaffen wird; Schweydar verlegt sowohl visuelle Ablesung wie photographische Aufzeichnung unter Verlängerung des Lichtweges über die Torsionsköpfe, während Hecker für die visuelle Beobachtung auf einer Kastenseite ein stark vergrößerndes Fernrohr mit Skala, auf der anderen wiederum eine Kassette zur photographischen Registrierung benutzt. Indessen scheint die letztere bei Feldmessungen kaum benutzt zu werden, da sie wegen des geringen Spiegelabstandes selbst bei Verwendung dünner Drähte zu ungenaue Resultate liefert[1]), ein Umstand, der noch mehr ins Gewicht fällt, wenn die im allgemeinen besseren Drähte von größerem Durchmesser verwendet werden (10).

Zum Vergleich der gebräuchlichen Typen diene die folgende Tabelle, bei welcher in der ersten Reihe, wie aus der rechts stehenden Formel ersichtlich, die Größe der Balkendrehung bei gleichen Schwerkrafts-Gradienten, in der zweiten der entsprechende Ausschlag auf der visuellen Skala resp. photographischen Platte angeführt ist, während die dritte Reihe den reziproken Wert der letztgenannten Zahl, somit den einem Ausschlag von $^1/_{10}$ mm entsprechenden Gradienten angibt, also die effektive Empfindlichkeit darstellt[2]).

Aus folgender Tabelle geht hervor, daß das Schweydarsche Instrument nicht nur die größte Ausschlagsempfindlichkeit, sondern auch die größte effektive Empfindlichkeit

[1]) Nach frdl. schrftl. Mitt. des Herrn Dr. Černik, Příbram, auf Grund seiner praktischen Erfahrung mit zwei derartigen Instrumenten.

[2]) Die Empfindlichkeit für Krümmungsgrößen wächst nicht, wie bei Gradienten linear, sondern annähernd quadratisch mit der Wagebalkenlänge und ist von h unabhängig.

Eötvös	Fechner	Schweydar	Hecker[1] photogr.	Hecker[1] visuell	
$56 \cdot 10^3$	$64 \cdot 10^3$	$69 \cdot 10^3$	$40 \cdot 10^3$	$40 \cdot 10^3$	$\frac{mhl}{\tau}$
$690 \cdot 10^6$	$441 \cdot 10^6$	$1047 \cdot 10^6$	$197 \cdot 10^6$	$634 \cdot 10^6$	$\frac{2\,D\,mhl}{\tau}$ [2])
$1{,}5 \cdot 10^{-9}$ [3])	$2{,}3 \cdot 10^{-9}$	$0{,}9 \cdot 10^{-9}$	$5{,}1 \cdot 10^{-9}$	$1{,}6 \cdot 10^{-9}$ [5])	$\frac{\tau}{2\,D\,mhl}$

besitzt, während hinsichtlich der letzteren (ebenfalls bei photographischer Registrierung, jedoch bei Verwendung dünner Drähte) die Heckersche Drehwage mehr als fünf mal unempfindlicher ist[3]).

Während die vorstehend über einige Instrumente gemachten zahlenmäßigen Angaben lediglich einen Anhaltspunkt über den nach Maßgabe ihrer Dimensionen zu erwartenden Genauigkeitsgrad der Ablesungen bieten, so ist zur Beurteilung der Brauchbarkeit von Drehwagen zu Feldmessungen weit mehr die Zuverlässigkeit der Endergebnisse maßgebend. Man wird zu diesem Zwecke am besten die unter ungünstigen meteorologischen Verhältnissen erfolgten Registrierungen auszuwählen und zu prüfen haben, um welche Beträge sowohl die Ergebnisse der einzelnen Sätze (je drei oder vier Stellungen bei Doppelwagen) unter sich wie auch die Tages- und Nachtbeobachtungen voneinander verschieden sind. Als Beispiel mögen die folgenden Ergebnisse von Registrierungen der mehrfach genannten Drehwagen-Typen dienen.

I. Eötvössche Wage von Sueß, visuelle Beobachtung bei Nacht, Ungarn.

Zeit	Temperatur Außen	Temperatur Zelt	Temperatur Wage	Stellung	△ Wage I	△ Wage II	$\frac{\partial^2 U}{\partial x \partial z}$	$\frac{\partial^2 U}{\partial y \partial z}$	$\frac{\partial^2 U}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 U}{\partial x^2}$	$\frac{\partial^2 U}{\partial x \partial y}$
							10^9	10^9	10^9	10^9
25./26. 10. 06										
9 p 00	+ 3,0	+ 3,3	+ 4,2	1	(− 2,73)	(+ 6,10)				
10 p 45	− 0,3	+ 0,3	− 1,2	2	− 0,80	+ 1,20	− 19,6	+ 23,5	+ 21,7	− 15,4
0 a 30	− 2,0	− 2,1	− 1,0	3	+ 3,47	− 7,37				
2 a 15	− 3,6	− 3,2	− 2,9	1	− 2,63	+ 5,90				
4 a 00	− 4,2	− 5,0	− 4,2	2	− 0,83	+ 1,43	− 20,1	+ 22,7	+ 22,5	− 14,5
5 a 45	− 5,8	− 5,8	− 5,2	3	(+ 3,47)	(+ 7,32)				
(Außen-Temp.-Schwankung 9°.)						Mittel:	− 19,9 ± 0,3	+ 23,1 ± 0,4	+ 22,1 ± 0,4	− 14,9 ± 0,6

[1]) Dabei ist D photogr. $= 2440 \cdot 0{,}1$ mm, D visuell $= 7840 \cdot 0{,}025$ mm. Die Empfindlichkeit von $5{,}1 \cdot 10^{-9}$ phot. und $1{,}6 \cdot 10^{-9}$ visuell bezieht sich auf $\tau = 0{,}16 \sim 30\,\mu$ Drahtstärke und wächst bei Verwendung von $25\,\mu$ starken Fäden ($\tau = 0{,}10$) auf $1 \cdot 10^{-9}$. H. Holst (10) hat aber so dünne Drähte gar nicht verwandt, sondern benutzte die auch für große Wagen übliche Stärke von $40\,\mu$, ($\tau = 0{,}5$), wobei also die Empfindlichkeit bei visueller Ablesung für $^1/_{10}$ Skt. (0,025 mm) $4{,}9 \cdot 10^{-9}$ betrug.

[2]) Bei Verwendung einer achromatischen Linse vor dem Wagespiegel ist D zu ersetzen durch f, die Brennweite dieser Linse.

[3]) Die Angabe von J. Koenigsberger (Die Verwendung geophysikalischer Verfahren in der praktischen Geologie, *Zeitschr. f. prakt. Geol.* **30**, *S. 37, 1922*), daß bei der Drehwage von Eötvös eine Schärfe von etwa $1{,}5 \cdot 10^{-8}$ und bei der Neukonstruktion von O. Hecker eine etwa doppelt so große Genauigkeit als früher zu erreichen sei, beruht wohl auf einem Druckfehler. In der Veröff. desselben Autors „Feststellung der Grenze und Tiefe überdeckter Salzhorste mit der Drehwage nach Eötvös" *(Petrol.* **20.** *S. 723)* wird auch nur gesagt, daß die Heckersche Wage beim Einziehen eines geeigneten Fadens eine noch etwas größere Genauigkeit als das Eötvössche Modell besitzt. Wie in Fußnote 3 angegeben, wäre dazu bei den dem Verf. bekannten Dimensionen der Heckerschen Wage ein Faden von $25\,\mu\,\phi$ erforderlich. Ob ein derartiger Draht aber zuverlässige Resultate gibt, wird von Koenigsberger nicht angegeben.

II. Wage von Fechner, photogr. Registrierung bei Nacht, Süddeutschland.

Zeit	Temperatur Außen	Temperatur Wage	Stellung	△ Wage I	△ Wage II	$\frac{\partial^2 U}{\partial x \partial z}$	$\frac{\partial^2 U}{\partial y \partial z}$	$\frac{\partial^2 U}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 U}{\partial x^2}$	$\frac{\partial^2 U}{\partial x \partial y}$
						10^9	10^9	10^9	10^9
11./12. 9. 22.									
6 p	8° Max.	+ 5,2	1	− 24,3	+ 35,7				
7 p		+ 4,1	2	− 5,3	+ 2,7	− 44,2	+ 61,7	− 11,2	+ 17,1
8 p		+ 2,4	3	+ 30,7	− 40,3				
9 p		+ 0,3	1	− 35,3	+ 35,7				
10 p		− 1,3	2	+ 1,7	+ 1,3	− 37,5	+ 66,3	− 22,9	+ 11,6
11 p		− 2,7	3	+ 28,0	− 39,3				
12		− 3,9	1	− 25,7	+ 38,0				
1 a		− 4,1	2	+ 3,3	+ 3,3	− 31,2	+ 54,6	− 39,8	+ 16,4
2 a		− 5,0	3	+ 18,7	− 37,0				
3 a		− 5,2	1	− 19,3	+ 34,7				
4 a		− 5,3	2	± 0	+ 5,0	− 35,8	+ 52,9	− 34,2	+ 16,0
5 a	− 6° Min.	− 5,4	3	+ 21,3	− 37,7				
(Außen-Temp.-Schwankung 14°.)					Mittel:	− 37,2 ± 2,7	+ 58,9 ± 3,1	− 27,0 ± 6,4	+ 15,3 ± 1,2

III. Schweydarsche Wage der Askania-Werke, photogr. Tag- und Nachtregistrierung, Tropen.

Zeit	Temperatur Außen	Temperatur Wage	Stellung	△ Wage I	△ Wage II	$\frac{\partial^2 U}{\partial x \partial z}$	$\frac{\partial^2 U}{\partial y \partial z}$	$\frac{\partial^2 U}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 U}{\partial x^2}$	$\frac{\partial^2 U}{\partial x \partial y}$
25./26. 5. 23.	33°								
12	Max.	28,8	1						
1 p		30,1	2	+ 0,5	− 1,6				
2 p		30,9	3	+ 0,7	+ 0,6	+ 2,8	+ 5,3	+ 8,9	− 0,6
3 p		31,3	1	− 1,1	+ 1,0				
4 p		31,3	2	+ 0,6	− 1,7				
5 p		31,2	3	+ 0,7	+ 0,6				
6 p		31,1	1	− 1,3	− 1,1	+ 2,9	+ 5,1	+ 8,2	− 0,3
7 p		30,7	2	+ 0,6	− 1,7				
8 p		30,1	3	+ 0,5	+ 0,5				
9 p		29,4	1	− 1,2	+ 1,1				
10 p		28,6	2	+ 0,6	− 1,7				
11 p		27,8	3	+ 0,5	+ 0,6	+ 3,1	+ 4,9	+ 8,1	± 0,0
12	18°	26,9	1	− 1,1	+ 1,0				
1 a	Min.	26,0	2	+ 0,6	− 1,7				
(Außen-Temp.-Schwankung 15°.)					Mittel:	+ 2,9 ± 0,1	+ 5,1 ± 0,1	+ 8,4 ± 0,2	− 0,3 ± 0,2

Die Tabelle I ist der Arbeit von Eötvös: „Bestimmung der Gradienten der Schwerkraft und ihrer Niveauflächen mit Hilfe der Drehwage“ (*Verhdl. d. 15. Allgem. Konf. d. Internat. Erdmessung in Budapest 1906*, Berlin 1908, *S. 353*) unter geringfügiger Änderung der Berechnungsweise entnommen; Tabelle II entstammt eigenem Beobachtungsmaterial; Tabelle III der unter (8) genannten Veröffentlichung unter Berücksichtigung freundlicher mündlicher Mitteilungen von Herrn Prof. Dr. W. Schweydar; Tabelle IV findet sich in der Dissertation von H. Holst (10).

Eötvös hat stets die Vorzüglichkeit der Sueßschen Konstruktion hervorgehoben; gleichwohl beobachtete er nicht am Tage, sondern stets in der Nacht. Die Tabelle zeigt, daß die Genauigkeit des aus zwei Sätzen gewonnenen Ergebnisses bei Nachtbeobachtung vollkommen ausreicht.

IV. Heckersche Wage der Gesellschaft für prakt. Geophysik. (Dicker Draht von 0,04 mm ϕ.)
Visuelle Tages-Beobachtungen, Süddeutschland.

Zeit	Temperatur der Wage	Stellung	△ Wage I	△ Wage II	$\frac{\partial^2 U}{\partial x \partial z}$	$\frac{\partial^2 U}{\partial y \partial z}$	$\frac{\partial^2 U}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 U}{\partial x^2}$	$\frac{\partial^2 U}{\partial x \partial y}$
16. 8. 23.								
9 a 30	20,8	1	0,0	+1,4				
10 a 30	21,7	2	+0,6	−0,6	+14,1	+40,8	−64,6	+55,0
11 a 30	26,5	3	−0,6	−0,8				
17. 8. 23								
3 p 00	25,8	1	0,0	+1,4				
4 p 15	25,0	2	+0,6	−0,6	+17,3	+35,4	−64,6	+55,0
5 p 45	20,3	3	−0,6	−0,7				
18. 8. 23								
10 a 00	17,0	1	0,0	+1,3				
11 a 00	19,0	2	+0,6	−0,6	+15,7	+38,1	−70,0	+60,3
12 00	20,8	3	−0,6	−0,8				
				Mittel:	+15,7 ± 0,9	+38,1 ± 1,5	−66,4 ± 1,8	+56,8 ± 1,8

Ein Beispiel für Registrierungen, wie sie nicht sein sollen, ist die Tabelle II. Die wenig gute Übereinstimmung der Einzelsätze ist auf die unzweckmäßige Konstruktion der Arretierung an der fraglichen Fechnerschen Wage zurückzuführen. Für die Exzenterbewegung waren sowohl im inneren, wie im mittleren Wagekasten Aussparungen vorgesehen, so daß bei der geringsten Undichtigkeit des äußeren Kastens die Außenluft direkt an den Wagebalken gelangen konnte. Da an dieser Anordnung nichts geändert werden konnte, mußte die Wage so verwendet werden, wie sie war es wurde versucht, die für die damals verfolgten Zwecke anzustrebende Genauigkeit durch eine entsprechende Häufung von Einzelsätzen zu erhalten. Unter derartigen Umständen waren natürlich die drei metallischen Umhüllungen des Schwingungsraumes nichts als tote Last.

Auch bei Tagesbeobachtungen zeigt hingegen selbst bei ungünstigen klimatischen Verhältnissen (Tropen) die Schweydarsche Wage eine über die Erfordernisse der genauesten Untersuchungen hinausgehende Zuverlässigkeit. Die Tagesmessungen geben den Beobachtungen bei Nacht nichts nach, so daß man in vier Stunden am Tage bequem eine Station erledigen kann (Tabelle III).

Tabelle IV ist den übrigen in der Anordnung der Sätze nicht vollkommen gleich, da diese nicht fortlaufend, sondern je ein selbständiger Satz an einem Tage gemessen wurde. Die Genauigkeit der Ergebnisse reicht in den meisten praktisch vorkommenden Fällen aus, doch ist sie kaum in weniger als drei Sätzen an einer Station zu erhalten[1]).

Die gewiß durchaus nicht zu unterschätzende Gewichtsverminderung bei der Heckerschen Wage wird also durch den hierdurch bedingten Zeitverlust wieder aufgehoben.

Literatur.

1. W. Schweydar, Die photographisch registrierende Eötvössche Torsionswage der Firma Carl Bamberg in Berlin-Friedenau; *diese Zeitschr.* ***41****, S. 175—183, 1921.*
2. O. Hecker, Die Eötvössche Drehwage des kgl. Geodät. Instituts in Potsdam; *diese Zeitschr.* ***30****, S. 6—14, 1910.*
3. D. Pekár, Die bei Feldmessungen angewandte Drehwage von Baron Roland von Eötvös; *diese Zeitschr.* ***42****, S. 173—178, 1922.*

[1]) Eingehende Angaben hierüber verdanke ich Herrn Dr. B. Černik, Příbram.

4. W. Schweydar, Die photographische Registrierung bei Feldmessungen mit der Eötvösschen Drehwage; *diese Zeitschr.* **42**, *S. 179—182, 1922.*
5. D. Pekár, Die Anwendbarkeit der Eötvösschen Drehwage im Felde; *diese Zeitschr.* **43**, *S. 187—195, 1923.*
6. H. Gornick, Die Drehwage und ihre Anwendung zu praktisch geologischen Untersuchungsarbeiten; *Erzausschuß, Bericht Nr. 2*, Verein Deutscher Eisenhüttenleute, Sitzung vom 15. 12. 21 in Düsseldorf.
7. H. Gornick, Bemerkungen zu den Ausführungen des Herrn Dr. Pekár: „Die Anwendbarkeit der Eötvösschen Drehwage im Felde"; *diese Zeitschr.* **43**, *S. 306—307, 1923.*
8. W Schweydar, Über Fortschritte bei Feldmessungen mit einer Drehwage nach Eötvös; *diese Zeitsckr.* **43**, *S. 307—311, 1923.*
9. C. Heiland, Die neue Drehwage der Askania-Werke; *Zeitschr. f. Feinmech. und Präzision, S. 213—216, 1924.*
10. H. Holst, Untersuchungen über die Form des Felsuntergrundes des Dreisamtales zwischen Freiburg i. Br. und Kirchzarten auf Grund von Gravitationsmessungen mit der Drehwage; *Dissert. Freiburg 1924.*

Referate.

Über die Kolbenbewegung der Druckwage.

Von L. Holborn. *Ann. d. Phys.* **75.** *S. 276. 1924.*

Im Anschluß an die kürzlich (*diese Zeitschr.* **44.** *S. 463. 1924*) besprochene Arbeit von Michels weist Verf. darauf hin, daß die bei seinen Arbeiten angewendete Hin- und Herbewegung des Kolbens der Druckwage an verschiedenen anderen Wagen ebenfalls benutzt wird und sich dauernd sehr gut bewährt hat. Bei der Anwendung der Drehbewegung besteht die Gefahr, daß der den Kolben ständig berührende Mitnehmer ihm eine geringe vertikale Kraftkomponente erteilt. Bei der Wage von Michels drehen sich die Gewichte gemeinsam mit dem Kolben, was zur Erzielung der nötigen Trägheit erforderlich ist. Bei der Wage der Reichsanstalt ist das nicht der Fall, was von Vorteil für Genauigkeit und Betriebssicherheit ist. Die Eichmethoden können nicht als wesentlich verschieden angesehen werden; wenn bei der Schüttelbewegung des Kolbens bisweilen trockene Reibung einträte, wie Michels es annimmt, müßten Spuren davon auf dem Kolben oder der Zylinderwand zu bemerken sein, was aber trotz jahrzehntelangem Gebrauch der Wage nicht der Fall ist.

Block.

Über die Berechnung der Aberrationen dritter Ordnung auf Grund der im Twymanschen Interferometer beobachteten Interferenzbilder.

Von K. Butkow. *Zeitschr. f. Physik* **22.** *S. 384. 1924.*

Vor einigen Jahren veröffentlichte Twyman Arbeiten, in denen er Interferenzmethoden zur Prüfung von Objektiven behandelte. Weil aber keine quantitativen Berechnungen der optischen Fehler — mit Ausnahme der Verzeichnung — gegeben wurden, betrachteten Bratke und Waetzmann die Twymansche Methode als eine rein qualitative. In der vorliegenden Arbeit des Verf. wird nun eine quantitative Berechnung der im Twymanschen Interferometer beobachtbaren Interferenzbilder durchgeführt. Mit dem Twymanschen Apparat wird die in Wellenlängen ausgedrückte Wellendeformation gemessen, und zwar als Funktion der Tangente des Kugelwinkels. Verf. stellt zwischen der Wellendeformation und den in geometrisch-optischem Maße dargestellten Aberrationen usw. Beziehungen her, die als unabhängige Veränderliche eben jene Tangente enthalten. Die Fehler in den Ergebnissen, die durch gewisse Vernachlässigungen höherer Glieder auftreten, gehen selten über 1⁰/₀ hinaus.

Flügge.

Über innere Beziehungen zwischen dem Dingraum und dem durch ein optisches Instrument entworfenen Bilde.

Von M. von Rohr. *Die Naturwissenschaften* **12.** *S. 94. 1924.*

Verf. behandelt die Schwierigkeiten, die dem beobachtenden Auge entgegentreten, wenn es unter Benutzung eines optischen Instrumentes sich in einem ungewöhnlichen Raum zurechtfinden

will. Dieser Fall tritt z. B. auf bei der Betrachtung des Blaseninnern mit dem Kystoskop, und dem operierenden Arzt fällt es häufig schwer, die krankhafte Stelle unter Beobachtung ihres optischen Bildes der Behandlung zu unterziehen. Diese Schwierigkeiten erstrecken sich auf Bildaufrichtung und Tiefenwahrnehmung. Verf. klärt in seiner Abhandlung die wahren Verhältnisse auf und zeigt den Weg, der zu der richtigen Raumvorstellung führt. *Flügge.*

Die Abbesche Zahl.

Von A. Sonnefeld, *Zentral-Ztg. f. Opt. u. Mech.* **45.** *S. 235. 1924.*

Der Verf. gibt für den praktischen Optiker eine nützliche Erklärung der Abbeschen Zahl $r = \frac{n_D - 1}{n_F - n_C}$ mit den Worten: Die Abbesche Zahl r einer Glasart gibt an, den wievielten Teil der mittleren Brennweite einer Sammellinse aus diesem Glase der blaue Brennpunkt F von dem roten C entfernt ist.

Er entwickelt diese Definition aus der bekannten Formel für die Brennweite einer Linse

$$f = \frac{1}{n-1} \cdot \frac{1}{\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}},$$

wo r_1 und r_2 die Krümmungsradien der beiden Flächen sind. Schreibt man diese Formel für n_F und n_C aus, so erhält man:

$$f_F - f_C = \frac{n_C - n_F}{(n_F - 1)(n_C - 1)} \cdot \frac{1}{\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}},$$

und wenn man den zweiten Faktor $= f_D (n_D - 1)$ setzt und annäherungsweise $(n_F - 1)(n_C - 1$ $= (n_D - 1)^2$ annimmt, so erhält man:

$$f_F - f_C = -\frac{f_D}{r}.$$

Für die Kreise, für welche diese Ausführungen bestimmt sind, wäre es vielleicht gut gewesen zu bemerken, daß bei einer bikonvexen Linse r_2 negativ zu setzen ist.

Der Verf. führt ferner aus, daß nicht nur für die Brennweite, sondern auch für die Bildweiten b von Gegenständen in endlicher Entfernung a mit großer Annäherung dieselbe Beziehnung gilt, indem

$$b_F - b_C = -\frac{f_D}{r} q^2$$

ist, worin $q = \frac{a - f}{a}$ sein soll. Er belegt das durch eine Tabelle, in der q von 1 bis 10 steigt. *H. Krüss.*

Die Beleuchtung einer Fläche durch einen Spektroskopspalt.

Von A. Hnatek. *Zeitschr. f. Physik* **22.** *S. 186. 1924.*

Ein unendlich schmaler Spalt von endlicher Länge wird durch eine gleichmäßig leuchtende Fläche beleuchtet. Es ist dann erlaubt, ihn als ein selbstleuchtendes, unendlich schmales Rechteck aufzufassen. Verf. berechnet in einer zur Spaltebene parallelen Ebene die Lichtverteilung, wie sie durch den Spalt hervorgerufen wird. Es ergibt sich, daß die Kurven gleicher Beleuchtungsstärke konzentrische Ellipsen sind, deren große Achsen parallel zum Spalt gerichtet sind und deren Exzentrizität mit dem Verhältnis der Spaltlänge zum Spaltabstand zunimmt. Ist der Spalt unendlich lang, so sind die Isophoten zum Spalt parallele, beiderseits symmetrische Geraden. Ist der Spalt unendlich kurz, also ein leuchtendes Flächenelement, so sind die Isophoten konzentrische Kreise. Aus diesen Untersuchungen ersieht man, daß auf einem Kollimatorobjektiv die Beleuchtungsstärke von der Objektivmitte nach dem Rande hin abfällt, aber in der Längenerstreckung des Spaltes langsamer als in der dazu senkrechten Richtung. Diese Tatsache stützt den Vorschlag, den Hartmann schon 1900 machte, nämlich bei Sternspektrographen der Verringerung der Ab-

sorptionsverluste im Glase halber das Prisma in der Richtung seiner Basis etwas aus dem Strahlengang herauszuziehen. Auch bei anderen Spektrographen empfiehlt sich das, weil nur solche Strahlen dadurch ungenutzt bleiben, die infolge der Lichtverteilung auf dem Kollimatorobjektiv geringe Bedeutung haben.

Außerdem berechnet Verf. die gesamte Lichtmenge, die von einem leuchtenden Spalt auf eine Kreisfläche gesendet wird, und kann auf Grund des erhaltenen Resultats die Wirkungsweisen verschiedener Spektrographen vergleichen. Bei gleicher Farbe und Lichtquelle ist nämlich für verschiedene Spektrographen das Verhältnis $\frac{Q}{\delta b} =$ konst., wo Q die gesamte Lichtmenge auf der Mattscheibe, δ die Dispersion an einer bestimmten Stelle des Spektrums und b die Spaltbreite sind. Unter Anwendung des Schwärzungsgesetzes kann man weiterhin das Verhältnis der Belichtungszeiten ermitteln, um unter obigen Voraussetzungen mit verschiedenen Spektrographen gleiche Schwärzungen in photographischen Aufnahmen zu erhalten. *Flügge.*

Über die Michelson-Cottonsche Methode zur Prüfung optischer Systeme.

Von M. A. Merland. *Revue d'Optique* **3.** *S. 401. 1924.*

Im *Astrophysical Journal* **47.** *S. 283. 1918* veröffentlichte Michelson eine Methode zur Prüfung optischer Systeme, die auf folgendem beruht:

Vor der zu untersuchenden Linse *DD* (Fig. 1) befindet sich eine Blende mit zwei rechteckigen Spalten A_1 und B_1. Als Lichtquelle dient z. B. eine Quecksilberbogenlampe, deren Licht spektral zerlegt ist; eine bestimmte Farbe wird auf einen schmalen Spalt S projiziert. Das Objektiv

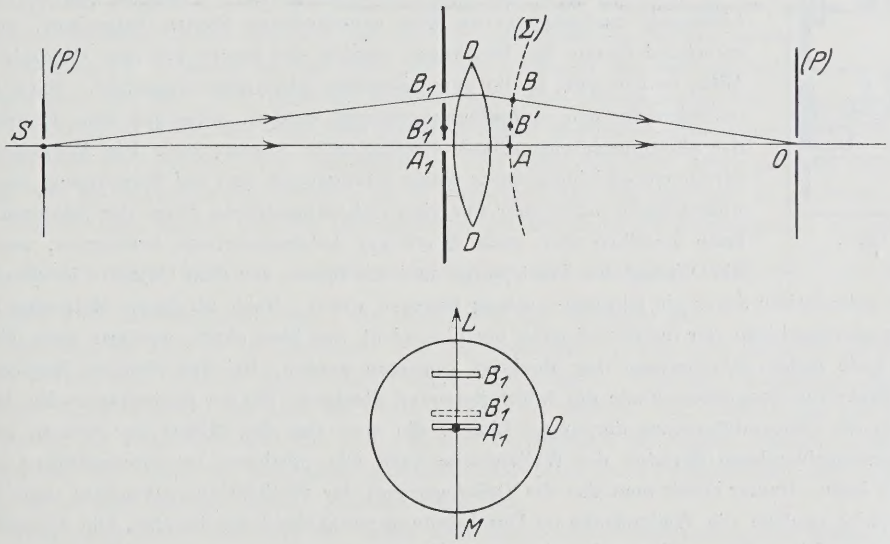


Fig. 1.

würde, wenn die Blende fehlte, ein Bild des leuchtenden Spaltes in O entwerfen. Die Blende läßt jedoch nur zwei schmale Lichtbündel durch das Objektiv hindurchtreten, die in O ein Interferenzbild mit einem hellsten mittleren Streifen erzeugen. Würde die Linse ideal abbilden, so würde das Interferenzbild immer an derselben Stelle bleiben, wenn der eine rechteckige Spalt über das Objektiv diametral bewegt wird. Ist jedoch die Bildweite zonenweise verschieden, so tritt mit der Bewegung des einen Spalts auch eine Verschiebung des Interferenzbildes auf. Diese Tatsache läßt sich dazu verwerten, die Änderung des Krümmungsradius der Wellenfläche Σ in einem beliebigen Abstande von O zu ermitteln. Verschiebt man nämlich den Spalt B_1 in eine zu A_1 möglichst nahe Stellung B_1' — die als beinahe zusammenfallend mit A_1 betrachtet werden kann, so wird man beispielsweise mit einem Okularmikrometer beobachten können, das p Interferenzstreifen an dem

Mikrometerfaden vorbeiwandern. Das würde heißen, die Krümmungsradien der Wellenfläche in B und in B' $(= A)$ hätten einen Gangunterschied vom Betrage

$$\varrho_B - \varrho_A = \varrho_B - \varrho_{B'} = p\lambda .$$

Die praktische Ausführung dieser Methode hat jedoch zwei Übelstände, die darin bestehen, daß die Interferenzstreifen sehr dicht beieinander liegen und dadurch schwer beobachtbar sind, wenn der bewegliche Spalt im Falle großer Objektivdurchmesser nahe dem Objektivrande liegt, und daß ferner wegen der scharfen Trennung der Interferenzbündel Erschütterungen und Luftschlieren bedeutende Störungen des Interferenzbildes hervorrufen.

Aus diesem Grunde hat Cotton die Michelsonsche Methode derart abgeändert, daß nicht nur der eine Spalt, sondern beide Spalte vor dem Objektiv vorbeibewegt werden. Die Messungen werden in solchen aufeinanderfolgenden Stellungen der Spalte vorgenommen, daß jedesmal der eine Spalt sich vor derjenigen Objektivzone befindet, wo der andere Spalt bei der vorhergehenden Messung stand. Mit Hilfe eines Jaminschen Glimmerkompensators kann der Gangunterschied der beiden interferierenden Strahlen in jeder Blendeneinstellung gemessen werden, und somit wird, wie Väisälä[1]) es in der Beschreibung seiner sehr ähnlichen Methode ausspricht, die Wellenfläche sozusagen „nivelliert". Diese Cottonsche Abänderung der Michelsonschen Methode gestattet es, die Gangunterschiede bis auf Fehler der Größenordnung $\frac{\lambda}{20}$ zu bestimmen.

Außer dieser visuellen Methode beschreibt Verf. auch noch eine photographische. Bei dieser wird die Verschiebung des mittleren Interferenzstreifens photographisch registriert. Da die Verschiebungen des Interferenzbildes in Abhängigkeit von der Spaltbewegung so gering sind, daß sie sich im photographischen Bilde übereinanderlagern würden, wendet Verf. den folgenden Kunstgriff an: Mittels einer geeigneten Vorrichtung (Fig. 2) wird der Lichtspalt nacheinander an drei verschiedenen Stellen beleuchtet, und entsprechend diesen drei Stellungen werden die Spalte vor dem Objektiv in der Mitte und in zwei zu ihr symmetrischen Abständen eingestellt. Dann können nacheinander drei Aufnahmen gemacht werden, ohne daß eine Verschiebung der photopraphischen Platte vorgenommen werden muß. Die Ausmessung der Streifenverschiebung unter einem Komparator und die Berechnung der Gangunterschiede liefert hier nur eine diskontinuierliche Folge der letzteren. Man kann dieselben aber auch in stetiger Aufeinanderfolge bekommen, wenn man die Öffnung des Lichtspaltes und die Spalte vor dem Objektiv in synchronem Gange automatisch durch ein Uhrwerk entlang bewegen würde. Nach all diesen Methoden können die Gangunterschiede der interferierenden Strahlen nicht nur über einen, sondern auch über beliebig viele andere Durchmesser des Objektivs gemessen werden. Bei der visuellen Methode mißt man direkt die Gangunterschiede der interferierenden Strahlen. Bei der photographischen Methode sind es die Längendifferenzen derjenigen Linien, die man von den Mitten der Sehnen zwischen den herausgeblendeten Punkten der Wellenfläche nach den mittleren Interferenzstreifen gezogen denken kann. Immer erhält man also die Deformationen der Wellenfläche gegenüber einer Bezugskugelfläche, welche die Wellenfläche im Durchstoßungspunkt der Achse berührt. Die Abweichungen können graphisch dargestellt werden, indem man entweder in einem rechtwinkligen Koordinatensystem als Abszissen die Einfallshöhen der Strahlen, als Ordinaten die Deformationen der Wellenfläche aufträgt, oder man verbindet auf einem Objektivplan die Stellen gleicher Deformation durch Kurvenzüge miteinander.

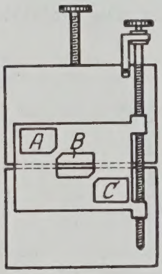


Fig. 2.

In dieser Weise nimmt Verf. praktische Prüfungen von einigen Objektiven vor. Außerdem berechnet er die Güte des Objektivs nach der bekannten Formel

$$T = \frac{200\,000}{F_0^2} \frac{\Sigma r^2 \Delta x}{\Sigma r},$$

[1]) Y. Väisälä, Neue Methoden der Untersuchung der Objektive nebst Bemerkungen über die Beurteilung ihrer Güte. *Ann. Univers. Fenn. Ab. Ser. B. Tom. I. Nr. 2. Turku 1922.* Besprechung in *dieser Zeitschr.* **43.** *S. 198. 1923.*

wo F_0 die paraxiale Bildweite, r die betrachtete Zone des Objektivs, Δx die der Zone r entsprechende sphärische Längsabweichung bedeuten. Das Δx kann man entweder, ähnlich wie bei Hartmann, durch eine intrafokale und eine extrafokale Messung ermitteln, oder aus den Wellenflächendeformationen δ berechnen nach der Formel

$$\Delta x = \frac{2 F_0^2 \delta}{r^2 + 2 F_0 \delta}.$$

Es ist vielleicht erwähnenswert, daß die Wellenflächendeformationen selbst zur Beurteilung der Güte ausreichen, worüber Väisälä in der schon genannten Abhandlung eingehend berichtet.

Flügge.

Die Einteilung der Entfernungsskalen photographischer Objektive im Zusammenhang mit der Ermittelung der Objektentfernung.

Von Robert Richter, *Zentral-Ztg. f. Opt. u. Mech.* ***45.*** *S. 236. 1924.*

Die Entfernungsskala eines photographischen Objektivs dient dazu, das Bild eines Gegenstandes ohne Zuhilfenahme der Mattscheibe nur auf Grund der geschätzten Entfernung des Gegenstandes einzustellen.

Der Verf. führt einleitend aus, daß die bisher lediglich mit Hilfe des Auges hergestellten Entfernungsschätzungen nur recht ungenau sein konnten, so daß die Intervalle der Entfernungsskala verhältnismäßig groß gehalten werden konnten. Nachdem aber jetzt vielfach die Entfernung des Gegenstandes durch einen Nahentfernungsmesser festgestellt wird, muß auch die Entfernungsskala des Objektivs eine größere Genauigkeit besitzen.

Die Einteilung der Entfernungsskala hängt mit der Tiefe des Objektivs zusammen. Die Skalenintervalle müssen so klein sein, daß die Einstellung der Plattenebene an keiner Stelle von der wahren Bildebene weiter abweicht, als die Tiefe des Objektivs daselbst beträgt.

Die Tiefe im Bildraum will der Verf. als eine Konstante des Objektivs bezeichnen. Das ist sie, wenn man mit dem Verf. dazu die Entfernung e eines Gegenstandes vom vorderen Brennpunkt des Objektivs wählt, das eben noch merklich scharf abgebildet wird, wenn die Platte genau auf einen unendlich fernen Punkt eingestellt ist. Es hätte vielleicht näher gelegen, diese Entfernung vom Hauptpunkte des Objektivs an zu messen, zumal, wie der Verf. im späteren Verlauf seiner Ausführungen angibt, man die Blendenebene des Objektivs als Anfangspunkt zu benutzen pflegt. Infolge seiner Annahme kommt er jedoch zu dem einfachen Ausdruck $\frac{f^2}{e}$ für die entsprechende Tiefe im Bildraum, wenn f die Brennweite des Objektivs ist.

Man beachte aber in der Definition, daß ein Gegenstand „eben noch merklich scharf" abgebildet werden soll. Das ist ein ziemlich weitgehender Begriff. Welchen Durchmesser darf das Bild eines Punktes haben, um noch als Punkt erkannt zu werden? Bei Betrachtung mit bloßem Auge kommt die Tiefe des Auges, die u. a. von dem Durchmesser der Zapfen abhängt, in Betracht. Soll aber das Bild durch ein Mikroskop untersucht oder durch einen Projektionsapparat vergrößert werden, so ist hier ein weit engerer Maßstab anzulegen.

Noch verwickelter aber wird die Sache, wenn man von dem Vergleich mit der Bildentfernung für einen unendlich entfernten Gegenstand abgeht und die Tiefe des Objektivs bei Einstellung auf endlich entfernte Gegenstände, um die es sich ja bei der Entfernungsskala handelt, untersucht.

Während bei der Einstellung auf unendliche Entfernung es sich nur um einen genäherten Gegenstand handelt, der noch merklich scharf erscheinen soll auf der Platte (Tiefe in die Nähe), tritt bei der Einstellung auf einen endlich entfernten Gegenstand der Umstand ein, daß außerdem auch ein etwas entfernterer Gegenstand noch merklich scharf auf der Platte abgebildet wird (Tiefe in die Ferne). Es ist also die Tiefe des Objektivs gleich der Summe der Tiefe in die Nähe und der Tiefe in die Ferne und diese Summe ist durchaus keine Konstante, sondern sie wird erheblich kleiner bei Verringerung der Entfernung des Gegenstandes[1]).

---

[1]) Näheres siehe: H. Krüss, Über die Tiefe der Bilder bei optischen Apparaten. *Pogg. Ann.* ***157.*** *S. 476 1876.*

Die letzten Ausführungen bedeuten eine gewisse Einschränkung der folgenden Untersuchungen des Verfassers. Er stellt in denselben fest, wie klein die Abstände der einzelnen Striche der Entfernungsskala sein müssen, damit die lineare Schätzung einer zwischen je zwei Strichen liegenden Stelle von der richtigen Einstellung weniger abweicht, als die als Maximum zuzulassende Abweichung von $\frac{f^2}{e}$. Daraus erhält er zum Schlusse die Skala

$$\frac{e}{0},\ \frac{e}{1},\ \frac{e}{4},\ \frac{e}{9},\ \frac{e}{25},\ \frac{e}{35},\ \frac{e}{45},\ \frac{e}{55},\ \frac{e}{65}\ \text{usw.}$$

die an jeder Stelle der vorstehenden Bedingung entspricht, bei der man also unbedenklich die Zehntel durch Schätzung ablesen kann.

Diese Skala hat wie alle derartigen Skalen den Nachteil, daß sie keine gleichmäßige ist, was die Schätzung von Zehnteln etwas erschwert. Der Verf. bemerkt noch, daß die Sache vereinfacht werden würde, wenn die Skala des Entfernungsmessers mit der Skala des Objektivs übereinstimmend gemacht würde und führt diesen Gedanken weiter durch den Vorschlag, die Skala des Entfernungsmessers gleichmäßig zu machen, dann würden auch alle Striche der Entfernungsskala des Objektivs den gleichen Abstand voneinander haben. Es würde dann aber selbstverständlich zu jedem Objektiv ein dazu passender Entfernungsmesser benutzt werden müssen, was die allgemeine Verwendbarkeit eines solchen Entfernungsmessers unmöglich machen würde. *H. Krüss.*

Über ein Mikropyrometer mit spektraler Zerlegung und die optisch beobachteten Schmelzpunkte einiger Platinmetalle.

Von F. Henning und W. Heuse. *Zeitschr. f. Phys.* ***29.*** *S. 157. 1924.*

Das ursprüngliche Glühfadenpyrometer nach Holborn und Kurlbaum, mit dem die Strahler ohne wesentliche Vergrößerung durch ein meist rotes Farbglas betrachtet werden, ist in der *Reichsanstalt* bereits früher (vgl. *diese Zeitschrift* ***30.*** *S. 66. 1910*) in ein Pyrometer mit spektraler Zerlegung oder auch (*Zeitschr. f. Phys.* ***16.*** *S. 63. 1923*) in ein Pyrometer mit vergrößernder Optik (zur Temperaturmessung an kleinen Strahlern) umgeändert worden. Nunmehr ist auf derselben Grundlage ein Instrument konstruiert worden, das die spektrale Zerlegung mit der Vergrößerung vereinigt. Es war zu dem Zweck im wesentlichen nur notwendig, in dem alten Spektralpyrometer vor die Pyrometerlampe Linsen mit anderer Brennweise einzufügen, die bei einem Objektabstand von 9 cm eine etwa 20fache lineare Vergrößerung ermöglichten. Eine Schwierigkeit trat indessen dadurch auf, daß bei dieser Vergrößerung das Lichtbündel merklich durch das Glas der Pyrometerlampe abgelenkt wurde und dann die wirksame Blende des Instrumentes nicht voll ausgefüllt war. Dieser Mangel zeigt sich sofort darin, daß der Faden der Pyrometerlampe auf dem Hintergrunde nicht zum Verschwinden gebracht werden kann. Er ließ sich einwandfrei beseitigen, indem man mittels einiger Stellschrauben den vor der Glühlampe befindlichen Teil des Pyrometerrohrs so justierte, daß die Mitte der Objektivlinse und die Mitte des Okularspaltes auf der optischen Achse des Instrumentes lagen.

Die Eichung der Pyrometerlampe im Spektralpyrometer wurde gegen früher verfeinert und so abgeändert, daß sie ohne einen schwarzen Körper durchzuführen ist. Man benötigt bei dieser Methode zur Eichung einen beliebigen Strahler, dessen Helligkeit durch einen rotierenden Sektor bekannter Öffnung um einen bestimmten Faktor geschwächt werden kann und einen leicht reproduzierbaren optischen Fixpunkt, nämlich die Flächen-Helligkeit eines an der freien Atmosphäre schmelzenden Platindrahtes.

Es empfiehlt sich, zunächst ohne Rücksicht auf den optischen Fixpunkt bei einer Wellenlänge λ_0 eine relative Eichung der Pyrometerlampe vorzunehmen, indem man das stets auf eine bestimmte, aber zahlenmäßig vorläufig unbekannte schwarze Temperatur S_0 bezogene Helligkeitsverhältnis $H/H_0 = e^{-\frac{c}{\lambda}\left(\frac{1}{S} - \frac{1}{S_0}\right)}$ durch die Gleichung

$$\frac{\lambda_0}{c} \ln \frac{H}{H_0} = g(i) \qquad 1)$$

mit der Stromstärke i der Pyrometerlampe in Beziehung bringt. Da das Helligkeitsverhältnis H/H_0 aus dem Öffnungsverhältnis eines rotierenden Sektors bestimmbar ist, so läßt sich die Funktion $g(i)$ auf diese Weise rein empirisch z. B. als quadratische Funktion der Stromstärke i darstellen. Nun ist aber $\frac{\lambda_0}{c} \ln \frac{H}{H_0} = \frac{1}{S_0} - \frac{1}{S}$, also erhält man für die gesuchte schwarze Temperatur S die Gleichung

$$\frac{1}{S} = -g(i) + \frac{1}{S_0}, \tag{2}$$

in der die additive Konstante $\frac{1}{S_0}$ zunächst unbekannt ist. Diese läßt sich dadurch ermitteln, daß das Instrument auf den optischen Fixpunkt eingestellt wird, dessen schwarze Temperatur S_f sei. Hat in diesem Falle die Stromstärke der Pyrometerlampe den Wert i_f, so erhält man $\frac{1}{S_f} = -g(i_f) + \frac{1}{S_0}$ und nach Elimination von $\frac{1}{S_0}$ die Beziehung

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{S_f} - g(i) + g(i_f) = f(i), \tag{3}$$

aus der nunmehr die gesuchte Temperatur S berechnet werden kann.

Es ist dies die schwarze Temperatur des Strahlers bei der Wellenlänge λ_0. Will man die Messung bei irgendeiner anderen Wellenlänge λ ausführen, so könnte dies geschehen, nachdem auch für diese Wellenlänge eine vollständige Eichung stattgefunden hat. Indessen hat sich gezeigt, daß die Eichung für verschiedene Spektralfarben erheblich vereinfacht werden kann. Man erhält nämlich die schwarze Temperatur S_λ für irgendeine Wellenlänge λ aus der Beziehung

$$\frac{1}{S_\lambda} = \frac{1}{S_{\lambda_0}} + k(\lambda - \lambda_0) = (fi)_{\lambda_0} + k \cdot (\lambda - \lambda_0) . \tag{4}$$

Die Konstante k hängt sowohl von der Selektivität K des Fadenmaterials der Pyrometerlampe ab als auch von der Anzahl n der Glasflächen, die in dem optischen System zwischen dem Faden der Pyrometerlampe und dem Strahler vorhanden sind. Für den Fall, daß der Faden der Pyrometerlampe aus Wolfram besteht, kann man mit großer Näherung

$$k = K + \frac{n}{c} \ln 0{,}955 = (660 - 32 \cdot n) \cdot 10^{-7} \tag{5}$$

setzen, falls λ in μ gemessen wird. Bei einer Pyrometerlampe mit Kohlefaden ist zwar $K = 0$, doch bleibt k ein wenig von Null verschieden. Beträchtliche Werte von k sind nur bei Pyrometerlampen mit Metallfäden zu erwarten. In jedem Falle aber läßt sich die Konstante ermitteln, wenn man das Pyrometer auf einen schwarzen Körper richtet, für den S_λ unabhängig von der Wellenlänge ist und wenn man dann die Stromstärken i bestimmt, die für das optische Gleichgewicht bei verschiedenen Wellenlängen λ erforderlich sind. Setzt man diese Werte von i in die für λ_0 bekannte Funktion $f(i)_{\lambda_0}$ ein und trägt man die so errechneten Werte dieser Funktion in Abhängigkeit von λ in ein rechtwinkliges Koordinatensystem ein, so erhält man eine Gerade, deren Neigung die Größe k liefert.

Bei der Bestimmung von k kann man sich vom schwarzen Körper unabhängig machen, wenn man einen Strahler benutzt, dessen schwarze Temperatur S in Abhängigkeit von der Wellenlänge bekannt ist. Für ein von einer Glashülle umgebenes Wolframband ist z. B.

$$\frac{1}{S_\lambda} = \frac{1}{S_{\lambda_0}} + 710 \cdot 10^{-7} (\lambda - \lambda_0) .$$

Eine wichtige Anwendung des Pyrometers mit stark vergrößernder Optik bildet die Bestimmung der schwarzen Temperaturen von Metallschmelzpunkten. Zu diesen Messungen dienten bei Platin und Palladium dünne Drähte von 0,25 mm Durchmesser, bei Rhodium und Iridium schmale Blechstreifen von 0,5 mm Breite und 0,1 mm Dicke, die bei einer Länge von etwa 2 cm unter möglichster Ausschaltung von Luftströmungen elektrisch zum Glühen gebracht wurden. Heizte man die Metalle zunächst bis etwa 20° unter den Schmelzpunkt, so steigerte sich die Temperatur ohne Regulierung des Stromes infolge der Zerstäubung so langsam (beim Platin etwa 1° in der Minute)

daß die optische Messung am Schmelzpunkt selbst, der durch die latente Wärme deutlich verzögert wird, ohne Schwierigkeit ausgeführt werden konnte.

Es ergab sich bei $\lambda = 0{,}622\ \mu$ die schwarze Schmelztemperatur

von	Palladium	zu	1399° C,
„	Platin	„	1571° „ ,
„	Rhodium	„	1720° „ ,
„	Iridium	„	2068° „ .

Die schwarze absolute Schmelztemperatur des Platins findet man für eine beliebige Wellenlänge λ des sichtbaren Gebietes aus der Beziehung

$$\frac{1}{S_\lambda} = \frac{1}{F} + \alpha \cdot \lambda = \frac{1}{2083} + \lambda \cdot 10^{-4}. \tag{6}$$

Die nähere Analyse dieser Gleichung führt zu dem Ergebnis, daß das schmelzende Platin im sichtbaren Gebiet ebenso strahlt wie ein schwarzer Körper von der absoluten Temperatur $F = 2083^0$ oder 1810^0 C, der durch einen rotierenden Sektor vom Öffnungsverhältnis $1 : e^{c \cdot \alpha} = 1 : 4{,}179$ betrachtet wird. F bezeichnet man als Farbtemperatur.

Da besonders der Schmelzpunkt des Platins auf die beschriebene Weise sehr scharf beobachtet werden kann, ist er ausgezeichnet als optischer Fixpunkt im Sinne der Gleichung 3) brauchbar. Damit ist die Möglichkeit gegeben, jede Pyrometerlampe ohne Verwendung eines schwarzen Körpers zu eichen. *Henning.*

Ausdehnungsmessungen bei tiefen Temperaturen mit Doppelspiegeldilatometer.

Von G. Borelius *und* C. H. Johansson. *Annal. d. Phys.* **17.** *S. 23. 1924.*

Die von den Verf. beschriebene Methode zur Bestimmung der Ausdehnung bei tiefen Temperaturen stimmt prinzipiell mit der Methode überein, wie sie vor Jahren schon von Leman und Werner[1]) angegeben und seitdem mit Erfolg bei zahlreichen Messungen benutzt wurde. Auch hier erfolgt die Messung an zylindrischen Stäben von 6—12 cm Länge relativ gegen Quarz und unter Verwendung von Doppelspiegeln in einer etwas anderen Anordnung, die der Königschen Doppelspiegelmethode zur Ermittlung der Durchbiegung von Stäben nachgebildet worden ist. Die Änderungen der Methode stellen aber keine Verbesserungen dar.

Ein kurzer hartgewalzter Messingstreifen liegt auf zwei horizontalen Schneiden und trägt an den Enden kleine, gegeneinander gerichtete Glasprismen, die als Spiegel dienen sollen. In der Mitte zwischen den Schneiden liegt das schneidenförmige Ende des Probestabes am Streifen an und gibt ihm eine kleine Biegung nach unten. Da das andere Ende des Stabes unverrückbar befestigt ist, wächst die Biegung bei eintretender Ausdehnung. Aus Schneidenabstand und der Änderung des Winkels zwischen den Spiegeln, die mit Fernrohr und Skala ermittelt wird, kann dann die Ausdehnung berechnet werden. Der Probestab selbst befindet sich in der vertikalen Ausbohrung eines Kupferstückes und wird oben zwischen zwei Schrauben eingeklemmt, deren eine die Form einer horizontal gestellten Schneide hat, so daß die wirksame Länge des Versuchsstabes eindeutig bestimmt ist. Zu beiden Seiten des Probestabes liegen, gleichfalls in senkrechten Ausbohrungen, zwei Quarzröhrchen, die oben in derselben Höhe und in gleicher Weise befestigt sind und unten auf einem angeschraubten Querstück die zur Aufnahme des Dilatometerstreifens dienenden Schneiden tragen. Um dem Kupferstück die gewünschten tiefen Temperaturen zu geben, ist es an einem langen dünnwandigen Messingrohr befestigt, in das die flüssige Luft hineingegossen werden kann. Durch Leitung wird dann das Kupferstück und der Probestab auf tiefe Temperatur gebracht, die mit Hilfe eines Platinthermometers gemessen wird. Das Ganze ist in ein zerlegbares metallisches Vakuumgefäß eingebaut.

---

[1]) A. Leman und A. Werner, *diese Zeitschr.* **33.** *S. 65, 1913;* A. Werner *diese Zeitschr.* **44.** *S. 315. 1924.* — Der damals verwendete Apparat wird in verbesserter Form von der Optischen Anstalt C. P. Goerz A. G. in Berlin-Friedenau gebaut.

Der Temperiermethode, wie sie hier vorgenommen wird, haften alle Mängel, welche der erzwungene Verzicht auf Bäder konstanter Temperatur mit sich bringt, in verstärktem Maße an. Bei einer Temperaturänderung im Kupferstück von 1 Grad pro Minute, die nach erfolgter Verdampfung der flüssigen Luft während der Messungen vor sich geht, kann es nicht verwundern, wenn z. B. die an verschiedenen reinen Kupferproben erhaltenen Ergebnisse um 4 v. H. voneinander abweichen. Die durch die Konstruktion des Apparates bedingten zahlreiehen Korrektionen tragen gleichfalls nicht dazu bei, die Resultate zuverlässiger zu gestalten. *Werner.*

Einige Instrumente zum Nachweis ultraroter Strahlung.

Von D. S. Perfekt. *Journ. scientific instr.* ***1.*** *S. 321. 1924.*

Es werden eine Reihe von Meßinstrumenten beschrieben, die wohl auch für andere Zwecke von Wert sein können. Beachtenswert sind folgende:

I. Streifengalvanometer. In einem gewöhnlichen Saitengalvanometer ersetzt man den Draht durch eine dünne Metallfolie. Es gelang dabei in einem Magnetfeld von rund 500 Gauß mit einem Aluminiumstreifen von 50 mm Länge, 1,5 mm Breite und 0,0006 mm Dicke bei einem Widerstand von 3,14 Ω eine Voltempfindlichkeit von $7{,}2 \cdot 10^{-8}$ zu erzielen. Durch Verstärkung des Magnetfeldes läßt sie sich noch erhöhen. Die Bewegung des Streifens erfolgt aperiodisch mit einer Bewegungsdauer von etwa 2 Sek. Für ein Thermoelement von 10 Ω Widerstand berechnet, ist die Empfindlichkeit rund 400 mal besser als in den besten englischen Saitengalvanometern mit 1,7 μ Drahtdurchmesser und 8,2 Ω Drahtwiderstand.

II. Neukonstruktion eines Galvanometers nach Paschen. Grundgedanken der Neukonstruktion sind die Verbesserung der Empfindlichkeit durch ein astatisches Nadelsystem, Verringerung des Einflusses von Erschütterungen und Erhöhung der Haltbarkeit des Systems dadurch, daß der Aufhängefaden an seinen beiden Enden festgelegt und das Nadelsystem in seiner Mitte befestigt wird. Das bewegliche System wird daher in der Mitte eines geschlossenen rechteckigen Quarzrahmens angebracht, wobei der Aufhängefaden in der Mitte der beiden horizontalen Schmalseiten angreift. Die Ablesung der Systemeinstellung erfolgt mikroskopisch durch einen mit dem System mitgehenden Quarzzeiger, auf dessen Ende ein Mikroskop gerichtet ist. Die wichtigsten Abmessungen des Instrumentes, das 2 Paar Magnete enthält, sind folgende:

Länge der Aufhängung	30	mm
Durchmesser der Aufhängung	0,004	„
Länge jedes Magneten	2,0	„
Durchmesser jedes Magneten	0,4	„
Abstand eines Paares von Magneten . .	1,0	„
Abstand der beiden Magnetenpaare . .	15	„
Zeigerlänge	10	„
Zeigerdurchmesser	0,01	„

Die vier Spulen wurden nach den bekannten Grundsätzen über günstigste Wirkung gewickelt, sie hatten 12 mm im Durchmesser und 3,3 m in der Breite, bei 10,8 Ω Widerstand und 23 m Drahtlänge. Die erwartete Empfindlichkeit wurde nicht erreicht. Seine kurze Schwingungsdauer und günstige Dämpfung machen es indessen recht verwendbar, auch wenn es an Empfindlichkeit hinter dem Paschen-Galvanometer zurückbleibt. *Block.*

Preisausschreiben der Deutschen Reichsbahn-Gesellschaft zur Erlangung eines Spannungsmessers und eines Schwingungsmessers für die Bestimmung der dynamischen Beanspruchung eiserner Brücken.

Die bis in die neueste Zeit gebauten Apparate zur Messung und Aufzeichnung von Schwingungen, die an eisernen Brücken durch dynamische Beanspruchung hervorgerufen werden, entsprechen noch immer nicht den an solche Apparate zu stellenden Anforderungen. Der Grund hierfür liegt einerseits darin, daß die zu messenden kleinen Bewegungen (Meßgenauigkeit etwa $^1/_{1000}$ mm) stark vergrößert, aber unverzerrt als Diagramme aufgezeichnet werden müssen, andererseits dürfte er darin zu suchen sein, daß die meisten Hersteller solcher Meßgeräte mit der Meßaufgabe und den Begleitumständen nicht genügend vertraut zu sein scheinen.

Aus dem Schrifttum, das sich mit dieser Aufgabe befaßt, seien folgende Veröffentlichungen besonders erwähnt:

1. Melen, Über dynamische Wirkung bewegter Lasten auf Brücken. *Zeitschr. österr. Ing. u. Arch. Ver. 1893. S. 293.*
2. Zimmermann, Die Schwingungen eines Trägers mit bewegter Last. *Zentralbl. d. Bauverw. 1896. S. 264 ff.*
3. Bühler, Darstellung und Kritik der in der Literatur vorliegenden Untersuchungen über Schwingungen eines Trägers mit bewegter Last. *Glasers Ann. 1909. Bd. 65.*
4. a) *American railway Engineering and Maintenance of Way Association. Bulletin Nr. 125, Juli 1910.* — b) *Eisenbau 1910. S. 290.*
5. Hawranek, Schwingungen von Brücken. *Eisenbau 1914, S. 221.*
6. a) *Ministry of Transport. Tests on Railway Bridges in Respect of Impact Effect. London 1921. The Railway Engineer 1921, S. 325 und 369.* — b) *Bauingenieur 1922. S. 33.* Die englischen Versuche über Stoßwirkungen von Dr.-Ing. G. Müller.
7. Saller: Einfluß bewegter Lasten auf Eisenbahnoberbau und Brücken. 1921. Wiesbaden, C. W. Kreidel's Verlag.
8. Geiger, Mechanische Schwingungsvorgänge und deren meßtechnische Untersuchungen. *Maschinenbau, Gestaltung, 1922 vom 12. August.*
9. *Schweiz. Bauztg. 1923. Heft 1.*
10. Geiger, Dynamische Untersuchungen von Brücken. *Bauingenieur 1924. Heft 19.*
11. *Engineering vom 21. März 1924*: Einfluß von Stößen und bewegter Lasten auf Schwingungen von Brückenträgern.
12. Hülsenkamp, Welche Anforderungen sind an Meßgeräte für die Ermittelung der dynamischen Wirkungen an eisernen Brücken zu stellen? *Bautechnik 1924. Heft 51.*

Die Deutsche Reichsbahn-Gesellschaft veranstaltet daher einen Wettbewerb zur Erlangung von naturgroßen, betriebsfähigen Modellen je eines Spannungs- und eines Schwingungsmessers, die hinsichtlich des dynamischen Verhaltens der eisernen Brücken richtige Angaben machen. Beide Apparate können auch in ein Gerät vereinigt werden, so daß gewissermaßen ein Universalapparat entstände, mit dem sowohl Schwingungen als auch Spannungen gemessen werden können. Indessen wird auf eine solche Vereinigung kein Wert gelegt, da beide Apparate zugleich gebraucht werden und die Handlichkeit dadurch leiden könnte.

Dem Preisgericht, bestehend aus den Herren

Wirkl. Geh. Oberbaurat Dr.-Ing. Dr. Zimmermann,
Professor Dr.-Ing. Gehler,
Oberregierungsbaurat Dr.-Ing. Saller,
Brückeningenieur der Schweizerischen Bundesbahnen Bühler,
Regierungsbaurat Hülsenkamp,

steht eine Summe von 33000 M. zur Verfügung, aus denen für die vom Preisgericht als geeignetste Apparate anerkannten Spannungs- und Schwingungsmesser je 3 Preise ausgesetzt werden.

1. Preis für Spannungsmesser . . .	8000 M.
2. „ „ „ . . .	6000 M.
3. „ „ „ . . .	4000 M.
1. Preis für Schwingungsmesser . .	7000 M.
2. „ „ „ . .	5000 M.
3. „ „ „ . .	3000 M.

Die preisgekrönten Apparate bleiben mit allen Rechten Eigentum der Erfinder. Die Apparate sind bis zum 1. Juni 1925 dem Eisenbahn-Zentralamt Berlin, Hallesches Ufer 35, mit äußerlich als „Wettbewerb für Spannungs- und Schwingungsmesser für eiserne Brücken“ gekennzeichneten Begleitschreiben einzusenden.

Zur Wegleitung sollen folgende Bedingungen dienen, denen die Apparate zu dienen haben:

A. Spannungsmesser.

Der Spannungsmesser soll mit einer Registriereinrichtung versehen sein, die mindestens 200 Spannungsschwingungen in der Sekunde aufzeichnen kann. Dies bedingt in erster Linie, daß kein Teil des Apparates, also auch des die Diagramme aufzeichnenden Teils, in irgendwelcher Hinsicht eine Eigenschwingungszahl haben darf, die niedriger ist als der vierfache Wert der oben genannten Schwingungszahl. Die Eigenschwingungszahl der Geräteteile, einzeln und zusammen arbeitend, darf also nicht kleiner sein, als 800 Schwingungen in der Sekunde. Die Schreibvorrichtung muß die Diagramme sozusagen reibungslos aufzeichnen können.

Auf den Diagrammen soll neben der Spannungs- oder Schwingungskurve eine sich nicht verändernde gerade Linie, die sogenannte Nullinie aufgezeichnet werden, die als Grundlinie für die Ausmessung der Diagramme dienen soll. Ferner soll eine Einrichtung vorhanden sein, die es ermöglicht, die Diagramme mit Zeitmarkierung zu versehen. Die Zeitmarkierung kann mit der Nullinie verbunden werden. Es soll außerdem eine z. B. mit Elektromagneten versehene Markierungsvorrichtung angebracht sein, die gestattet, bestimmte Zeitpunkte auf dem Diagramm durch äußeren Stromschluß festzuhalten, um Stellungen der fahrenden Last mit den Diagrammpunkten in Beziehung bringen zu können.

Die Übersetzung des Apparates soll veränderlich sein; bei kleinster Meßlänge und bei kleinster Übersetzung müssen am Diagramm Spannungsunterschiede von mindestens 20 kg/cm² festgestellt werden können. Bei größter Übersetzung und bei größter Meßlänge sollen am Diagramm dagegen Spannungsänderungen von 5 kg/cm² noch bestimmbar sein. Auch die Meßlänge soll nach Möglichkeit veränderlich sein, bei unveränderlicher Meßlänge soll diese nicht mehr als 20 cm betragen.

Die Diagrammbandbreite muß so bemessen sein, daß sowohl Zug- als auch Druckspannungen bis zu 2000 kg/cm² aufgezeichnet werden können (Gesamtbereich 2000 kg/cm²). Die Diagramme sollen ohne vergrößernde Hilfsmittel auswertbar sein. Der Ablauf des Diagrammbandes soll in den Grenzen zwischen 0,5 cm und 10 cm in der Sekunde veränderbar sein. Die Einschaltung des Uhrwerks soll fernbedienbar sein, damit mehrere Apparate gleichzeitig bedient werden können. Die Papiertrommel braucht nicht mehr als 20 m Papierstreifen zu fassen.

Die photographische Erzeugung von Diagrammen ist nicht erwünscht, da dadurch die praktische Verwendbarkeit stark beeinträchtigt wird, indem erst nach Beendigung der Messungen durch Entwickeln der Filme festgestellt werden kann, ob die aufgenommenen Diagramme den Anforderungen entsprechen oder ob die Versuche nochmals wiederholt werden müssen.

Die Befestigung des Apparates soll weder umständlich noch zeitraubend sein und auch von weniger Geübten bewerkstelligt werden können. Sie müssen durchaus fest und unverrückbar sein, so daß der Apparat stärkste Erschütterungen ohne die geringste Lockerung ertragen kann. Die Anbringung des Apparates an der Meßstelle muß so geschehen, daß die Meßlänge unzweideutig festliegt und die Meßstrecke nicht beeinflußt wird. Die Apparate müssen sich an allen wagerechten, lotrechten und schrägen Brückengliedern und an allen hierzu verwendeten Formeisen anbringen lassen. Als kleinste Profile kommen hierbei U- und Doppel-T-Eisen von 16 cm Außenhöhe und als größte Dicke von verstärkten Flanschen 10 cm in Frage. Der Spannungsdurchmesser sollte, wenn irgend möglich, die Spannung einer wirklichen Querschnittsfaser und nicht die einer außerhalb des Querschnittes liegenden idealen Faser anzeigen. Die Verwendung einer Meßstange oder dergleichen sollte also vermieden werden.

Alle beweglichen Teile sollten vor Staub, Schmutz, Regen und Wind möglichst geschützt angeordnet sein.

Im folgenden werden einige bestehende Apparate, die der Zeit der Erfindung nach geordnet sind, kurz beschrieben und ihre Vorzüge und Nachteile angegeben:

1. Spannungsmesser System Fränkel-Leuner.

Die Längenänderungen werden von einer Meßstange durch Hebel- und Stahlbandgelenkübersetzung 150-fach vergrößert und durch einen Anilinfarbstift auf Chrompapier aufgezeichnet.

Vorzüge: Ziemlich einfache Befestigungsart und Bedienung. Meßlänge veränderlich. Toter Gang durch Federgelenke möglichst aufgehoben.

Nachteile: Eigenschwingungszahl des schreibenden Teils viel zu gering. Spannungsmessung folgt in einer idealen Faser. Kleinste Meßlänge mit 50 cm zu groß. Papierablauf hat unveränderliche und zu kleine Geschwindigkeit. Reibung zwischen Schreibstift und Papier zu groß.

Literatur: *Zentralbl. d. Bauverw. 1884. Deutsche Bauztg. 1893. Heft 94. S. 576.*

2. Spannungsmesser System Okhuizen.

Zweifaches Hebelgerät ohne Meßstange, dessen Messingschreibstift die Bewegungen etwa 400fach vergrößert auf Chrompapier schreibt.

Vorzüge: Handliche Befestigungsart. Geringe Meßlänge. Toter Gang durch konische Gelenkhalter vermieden. Spannungsmessung erfolgt auf einer wirklichen Querschnittsfaser.

Nachteile: Eigenschwingungszahl zu gering. Papierablauf nur mit der Hand zu bewerkstelligen. Reibung zwischen Schreibstift und Papier zu groß.

Literatur: Beschreibung von Apparaten zur Untersuchung von eisernen und massiven Bauwerken zusammengestellt vom Brückenbaubüro der Generaldirektion der Schweizerischen Bundesbahnen.

3. Spannungsmesser System Mesnager.

Dreifaches Hebelgerät ohne Meßstange, dessen Schreibstift die Bewegungen etwa 1000-fach vergrößert und auf gewöhnliches Papier schreibt.

Vorzüge: Einfache Befestigungsart. Geringe Meßlänge (5 cm). Toter Gang durch Federgelenke vermieden. Spannungsmessung erfolgt in einer wirklichen Querschnittsfaser. Geringe Reibung zwischen Schreibvorrichtung und Papier.

Nachteile: Eigenschwingungszahl zwar höher als bei System zu 1 und 2 aber noch nicht hoch genug. Bei raschen Schwingungen wird die Tinte der Schreibvorrichtung herausgeschleudert. Kein fortlaufender Papierstreifen, daher zu begrenzter Raum für Diagramme. Apparat ist zu hoch, um in kleinen Profilen angebracht werden zu können.

Literatur: *Ann. des Ponts et Chaussées 1903. 1. Teil. 3. S. 212.* Beschreibung von Apparaten zur Untersuchung von eisernen und massiven Bauwerken wie zu 2.

4. Spannungsmesser System Fereday-Palmer.

Röhrenförmiger mechanisch-optischer Apparat ohne Meßstange, bei welchem ein mit Federgelenk versehener einarmiger Hebel einen Spiegel trägt, der durch Spannungswechsel in Drehungen versetzt wird. Der Spiegel erhält von einer im Apparat befindlichen Lichtquelle einen Lichtstrahl, der durch den Spiegel auf ein Filmband geworfen wird.

Vorzüge: Soll bis 300 Spannungswechsel in der Sekunde anzeigen. Einfache Befestigung. Toter Gang im mechanischen Teil des Apparates durch Federgelenk vermieden. Spannungsmessung erfolgt in einer wirklichen Querschnittsfaser. Ablauf des Diagrammpapiers in weiten Grenzen veränderbar.

Nachteile: Vermutlich wird das Rohr, in das der der Apparat eingebaut ist, gelegentlich erschüttert, wodurch die Diagramme gefälscht werden können. Meßlänge von 50 cm zu groß. Erzeugung der Diagramme auf optisch-photographischem Wege unerwünscht und umständlich.

Literatur: *Railway Engineer Sept. 1921. S. 328. Der Bauingenieur 1922. S. 33.*

5. *Elektrical Telemeter* des Standard-Büro in Washington.

Mehrere in 2 Stapeln aufeinanderliegende Kohleplättchen werden durch Veränderung des Abstandes der beiden Meßpunkte zusammengedrückt oder entlastet, wodurch ihre elektrische Leitfähigkeit verändert wird. Mit Hilfe der Wheatstonschen Brückenschaltung wird die Widerstandsänderung auf einen Oszillographen übertragen, durch dessen Oszillogramme die Spannungswechsel angezeigt werden.

Vorzüge: Soll bis zu 100 Spannungswechsel in der Sekunde anzeigen. Oszillograph kann entfernt von der eigentlichen Meßstelle werden. Einfache Befestigung.

Nachteile: Es besteht die Gefahr, daß infolge der Elastizität der Kohleplättchen die Be-

wegung derselben raschen Spannungswechseln nicht folgen kann, wodurch die Widerstandsänderung nicht gleichzeitig mit den Spannungswechseln erfolgt. Aufzeichnung der Diagramme auf photographischem Wege durch den Oszillographen. Die Zahl der sekundlichen Spannungswechsel ist noch zu gering.

Literatur: *Engineering News Record v. 5. 7. 23. Bautechnik 1924, Heft 18, S. 194. — A New Electrical Telemeter, Washington, Governement Printing Office 1924.*

6. Spannungsmesser der *Cambridge & Paul Scientific Instrument Company.*

Zweifaches Hebelgerät, von dem der eine Hebel ein Federgelenk besitzt und der zweite durch Federzug gegen den ersten gepreßt wird. Der zweite Hebel besitzt an seinem Ende eine Spitze, die die Diagramme in ein Zelluloidband einkratzt. Der Apparat soll bis zu 1400 Spannungswechsel in der Sekunde anzeigen, was jedoch in Anbetracht der verhältnismäßig großen Reibung zwischen Schreibstift und Zelluloidband zu bezweifeln ist.

Vorteile: Einfache Befestigungsart. Toter Gang des einen Hebels durch Federgelenk, des anderen Hebels durch Federdruck aufgehoben. Meßlänge mit etwa 25 cm noch annehmbar. Spannungsmessung erfolgt in einer wirklichen Querschnittsfaser.

Nachteile: Da der Apparat mit einer nur 15-fachen Übersetzung arbeitet, müssen die Diagramme mit einem Mikroskop ausgewertet werden.

Literatur: *The Engineer 1924, S. 12. — Zeitschr. d. Ver. D. Ing. Nr. 17 vom 26. 4. 1924. S. 425.*

7. Spannungsmesser System Dr. Geiger.

Die Längenänderungen werden durch eine Meßstange und verschiedene Hebel übertragen. Die Aufzeichnung erfolgt auf gewöhnlichem Papier mit Tinte, die sofort getrocknet wird.

Vorzüge: Sehr hohe Eigenschwingungszahlen bis zu 600 in der Sekunde. Reibung zwischen Papier und Schreibstift besteht nur in Flüssigkeitsreibung. Papierablauf in weiten Grenzen veränderbar. Meßlänge und Übersetzung veränderbar. Toter Gang wird durch Federdruck aufgehoben.

Nachteile: Umständliche Befestigung. Spannungsmessung erfolgt in ideeller Faser.

Literatur: *Zeitschr. d. Ver. D. Ing. 1924, Heft 11.*

8. Spannungsmessung durch elektrische Widerstandsmessung von Ober-Ing. Elsässer.

Die Längenänderungen werden auf einen Widerstandsdraht übertragen, dessen Ohmscher Widerstand unter Zuhilfenahme eines Oszillographen gemessen wird.

Vorzüge: Eigenschwingungszahl der messenden Teile kann sehr hoch gewählt werden. Meßlänge kann in weiten Grenzen verändert werden. Spannungsmessung erfolgt in einer wirklichen Querschnittsfaser. Toter Gang der messenden Teile so gut wie ausgeschlossen.

Nachteile: Ziemlich umständliche Befestigungsart. Aufzeichnung der Diagramme auf photographischem Wege durch Oszillographen.

Literatur: Messen von Schwingungs- und Drehmomenten mittels Oszillographen von Ober-Ingenieur Elsässer, *Zeitschr. d. Ver. D. Ing. von 1924, Heft 20.*

B. Schwingungsmesser.

Der Schwingungsmesser soll auf dem seismographischem Prinzip beruhen und mit Registriervorrichtung versehen sein. Es sollen mit ihm sowohl Horizontal-, wie auch Vertikalschwingungen von mindestens 200 Schwingungen in der Sekunde bis hinunter auf eine Schwingung in der Sekunde aufgenommen werden können. Letztere Bedingung erfordert eine Veränderung der Eigenschwingungszahl der trägen Masse bis zu 0,5 Schwingungen in der Sekunde. Die Übersetzung in der Schreibvorrichtung soll verändert werden können, braucht aber eine 25-fache Vergrößerung nicht zu übersteigen. Als Diagrammbandbreite würden vertikal wie horizontal ungefähr 5 cm genügen. Es wäre auch erwünscht, mit dem gleichen Apparat durch Veränderung der trägen Masse oder deren Aufhängung die vertikale und horizontale Durchbiegung von Brückenträgern messen zu können. Es würde dies bedingen, daß die Eigenschwingungszahl der trägen Masse 0,1 Schwingung in der Sekunde übersteigt. Für die Aufzeichnung der vertikalen Durchbiegung wäre dann eine Diagrammbandbreite von 8 cm erforderlich. Die Durchbiegungen können in diesem Falle naturgroß oder bis zu doppelter Vergrößerung aufgezeichnet werden. Im übrigen gelten bezüglich der

Eigenschwingungen, der Reibung der Schreibvorrichtungsteile, der photographischen Herstellung der Diagramme, des Diagrammablaufs, der Befestigung usw. des Apparates die unter A beim Spannungsmesser angegebenen Grundsätze. Außerdem muß die träge Masse so angeordnet sein, daß sie durch Windstöße der Atmosphäre oder der rasch fahrenden Belastungszüge nicht beeinflußt wird.

Im folgenden werden einige bestehende Apparate kurz beschrieben und ihre Vorzüge und Nachteile angegeben:

1. Schwingungsmesser System Fränkel-Leuner.

Apparat mit Vertikal- und Horizontalpendel.

Vorzüge: Die Vertikal- und Horizontalschwingungen werden auf das gleiche Diagrammpapier aufgezeichnet. Einfache Aufstellung und Handhabung. Eigenschwingungszahl der trägen Masse für Horizontalschwingungen ist gering genug. Aufzeichnung auf gewöhnlichem Papier.

Nachteile: Die Eigenschwingungszahlen der Pendel können nicht verändert werden. Für das Vertikalpendel ist die Eigenschwingungszahl mit 1 Schwingung in der Sekunde zu groß. Die Eigenfrequenz der Schreibvorrichtung ist zu klein. Durchbiegungen können nicht aufgenommen werden. Reibung zwischen Schreibstift und Papier zu groß.

Literatur: *Schweiz. Bauztg. 1897.* Beschreibung von Apparaten zur Untersuchung von eisernen und massiven Bauwerken. Zusammengestellt vom Brückenbaubüro der Generaldirektion der Schweizerischen Bundesbahnen.

2. Apparat von Prof. Grunmach.

Dreipendelapparat, durch den die Schwingungen mit Hilfe eines Saitengalvanometers registriert werden.

Vorzüge: Eignet sich für sehr rasche Schwingungen mit kleinem Schwingungsausschlag. Die Aufzeichnung der Diagramme erfolgt vom Schwingungsmesser entfernt, wodurch große Unabhängigkeit von der Witterung erzielt wird. Träge Massen sind vor Windeinfluß geschützt.

Nachteile: Aufzeichnung der Diagramme erfolgt auf photographischem Wege. Apparat eignet sich in der bestehenden Ausführung nicht für langsame Schwingungen.

Literatur: *Ber. d. D. Physikal. Ges. im Jahre 1908. S. 583.* Über neue Methoden zur Messung von Erderschütterungen kleinster Periode von Prof. Grunmach.

3. Vibrograph von Dr. Geiger.

Einfacher Pendelapparat, mit dem sowohl Vertikal- als auch Horizontalschwingungen aufgenommen werden können. Aufzeichnungen erfolgen mit Tinte auf gewöhnlichem Papier.

Vorzüge: Eigenschwingungszahl des Schreibgeräts sehr hoch. Die Eigenschwingungen der trägen Masse, die Schreibhebelübersetzung und der Papierablauf können in weiten Grenzen verändert werden. Reibung zwischen Schreibstift und Papier besteht nur in Flüssigkeitsreibung.

Nachteile: Aufzeichnungen der Vertikal- und Horizontalschwingungen erfolgen nicht gleichzeitig. Träge Masse ist bei geringer Eigenschwingungszahl nicht gegen Luftstöße geschützt.

Literatur: *Zeitschr. d. Ver. D. Ing. 1922. S. 437.*

4. Schwingungsmesser der *Cambridge & Paul Scientific Intrument Company.*

Vertikalschwingungsapparat, bei dem die Schwingungen ähnlich wie beim Spannungsmesser der gleichen Firma durch einen Schreibstift in ein Zelluloidband eingekratzt werden.

Vorzüge: Eigenschwingungszahl kann verändert werden,

Nachteile: Reibung zwischen Schreibstift und Zelluloidband jedenfalls groß. Apparat ist nur für Vertikalschwingungen gebaut. Träge Masse ist nicht gegen Luftstöße geschützt.

Literatur: *The Engineer 1923. Nr. 3549.*

Nachdruck verboten.

Verantwortlich für die Redaktion: Oberregierungsrat Professor Dr. F. Göpel in Charlottenburg.
Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Kuratorium:
Prof. Dr. D. h. c. **H. Krüss**, Vorsitzender, Prof. Dr. **R. Straubel**,
Prof. Dr. **F. Weidert**, geschäftsführendes Mitglied.

Schriftleitung: Oberregierungsrat Prof. Dr. **F. Göpel** in Charlottenburg-Berlin.

XLV. Jahrgang. **März 1925.** Drittes Heft.

Über ein den Empfindungsstufen des Auges tunlichst angepaßtes Photometer, Stufenphotometer genannt, und über seine Verwendung als Farbmesser, Trübungsmesser, Kolloidometer, Kolorimeter und Vergleichsmikroskop.

Von
Prof. Dr. phil. Dr. ing. h. c. **C. Pulfrich** in Jena.
(Mitteilung aus dem Zeiss-Werk, Jena.)

(Fortsetzung von S. 70 und Schluß.)

Das Verfahren, nach dem Wilhelm Ostwald den Schwarzgehalt und den Weißgehalt einer Farbe bestimmt, gründet sich auf eine von Lambert gemachte Beobachtung, daß eine im Tageslicht reinweiß erscheinende Fläche auch in einfarbiger Beleuchtung heller aussieht, als ein einfarbiger Körper in der gleichen farbigen Beleuchtung. Legen wir z. B. neben einen der gelben Farbaufstriche 00, 04 oder 08 des Farbenkreises *pa* eine Barytweißplatte, bekanntlich das weißeste Weiß, und beleuchten beide Teile in der Dunkelkammer mit einer Natriumflamme, so zeigen die Farbaufstriche im Vergleich zur Barytweißplatte eine deutlich erkennbare schwärzliche Trübung. Der Grund hierfür ist der, daß die bei Tageslicht beobachtete Farbwirkung der gelben Farbaufstriche durch Absorption des Lichtes erzeugt wird, die allerdings in der Hauptsache die blauen und die violetten Strahlen vernichtet, aber auch die roten, gelben und grünen Strahlen in ihrer Helligkeit mehr oder weniger herabsetzt. Das, was hierbei in dem dem Farbkörper eigentümlichen Spektralbezirk an Helligkeit verloren geht, ist das, was man nach Ostwald den Schwarzgehalt der Farbe zu bezeichnen hat[1]).

Statt mit einfarbigem Licht zu beleuchten, wählt Ostwald den bequemeren Weg, die miteinander zu vergleichenden Objekte durch ein Farbfilter zu betrachten. Und zwar wird bei der Messung des *S*-Gehaltes ein Farbfilter — Paßfilter genannt — benutzt, welches den von dem farbigen Körper ausgehenden Spektralbezirk durchläßt, während bei der Messung des *W*-Gehaltes ein Farbfilter — Sperrfilter genannt — benutzt wird, welches einen von der Farbe des Körpers abseits gelegenen Spektralbezirk durchläßt, dabei aber die Farbe des Körpers vollständig auslöscht. Natürlich kann derselbe Filter für den einen Farbstoff als Paßfilter und für den anderen als Sperrfilter benutzt werden.

---

[1]) Der Ausdruck Schwarzgehalt ist offenbar aus der Praxis der Färbereien, eine gegebene weiße oder bunte Farbe durch Zusatz bestimmter Mengen eines schwarzen Farbstoffes zu verdunkeln, in die Farbenlehre übergegangen.

Die Herren Professoren Wilhelm Ostwald und v. Lagorio und die unter der Leitung des Herrn Prof. Krüger stehende Werkstelle für Farbkunde in Dresden haben es sich angelegen sein lassen, für die Ostwaldsche Methode der Farbmessung sieben verschiedene Farbfilter herzustellen: zwei rote, ein gelbes, ein blaugrünes, ein gelbgrünes, ein blaues und ein blauviolettes Filter, die sie für die vorliegenden Zwecke als ausreichend erachten.

Diese sieben aus Dresden vor einem Jahre von Herrn v. Lagorio bezogenen und mit den Ziffern 2a, 2, 1, 5, 4, 3 und 3a bezeichneten Farbfilter lassen, mit dem Vergleichsspektroskop untersucht, die in Fig. 15 angegebenen gleichmäßig über das Spektrum verteilte Durchlaßgebiete erkennen. Die Ordinaten sind nach Schätzung eingetragen.

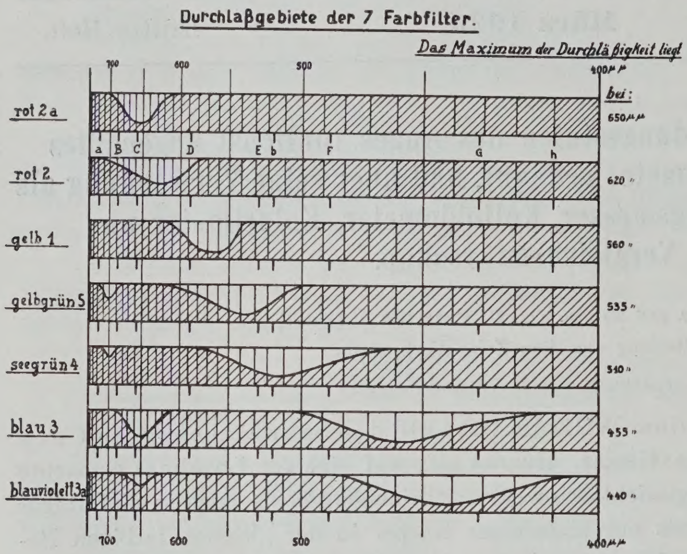


Fig. 15. Die Durchlaßgebiete der sieben Farbfilter.

Die Farbmessung selbst wird von Ostwald mit Hilfe seiner Grauleiter $W-S$ vorgenommen. Die Grauleiter ist in diesem Falle ein langer Papierstreifen, auf dem die einzelnen Graustufen a, b, c . . . hintereinander aufgeklebt sind. Dieser Papierstreifen kommt unmittelbar neben den zu untersuchenden Farbaufstrich zu liegen. Durch ein in vertikaler Lage darüber befestigtes, beiderseits offenes, nur zum Einlegen eines Farbfilters eingerichtetes Schaurohr wird dann der Farbaufstrich mit der danebenliegenden Graustufe verglichen. Nach Einfügung des Paßfilters bewegt man dann die Graureihe an dem Farbtäfelchen vorbei und sucht diejenige Stufe auf, welche genau so aussieht wie der Farbaufstrich. Alsdann kann man sagen, daß der Farbaufstrich genau den gleichen S-Gehalt hat, wie die eingestellte Graustufe, deren S-Gehalt bekannt ist.

Mit dieser Messung des S-Gehaltes ist nun aber auch der Helligkeitsanteil $W' = 100 - S$ gegeben, der dem von dem Paßfilter durchgelassenen Spektralbezirk zukommt. Dieser Helligkeitsanteil W' setzt sich aus zwei Beträgen zusammen, einem Betrage V, der nur dem von dem Paßfilter durchgelassenen Spektralbezirk zukommt und einem anderen Betrag W, der auch den übrigen Teilen des Spektrums in der gleichen relativen Stärke wie im weißen Licht angehört, so daß wir setzen können

$$100 - S = V + W.$$

Den einen Teil V nennt Ostwald Vollfarbe, den anderen W den Weiß-Gehalt der Farbe. Woher das Weiß in jedem einzelnen Falle kommt, ist eine Frage für sich. Ein Teil hat jedenfalls seinen Ursprung in der mehr oder weniger weißhaltigen Farbe des Körpers, ein anderer Teil rührt von der Oberfläche des farbigen Körpers her, die einen bestimmten Bruchteil des auffallenden weißen Lichtes, in seiner spektralen Zusammensetzung unverändert, diffus zurückwirft.

Die Messung des W-Gehaltes geschieht genau in der gleichen Weise, nur wird

jetzt an Stelle des Paßfilters das Sperrfilter in das Schaurohr eingesetzt. Auch hier macht der Vergleich der beiden Felder keine Schwierigkeiten, denn der Farbaufstrich und die einzelnen Stufen der Graureihe zeigen auch jetzt das gleiche farbige Aussehen, nämlich das der Durchlaßfarbe des Sperrfilters. Diejenige Stufe der Graureihe, die gleichhell erscheint wie der Farbaufstrich, liefert dann auch sofort die gesucht Größe W. Ziehen wir diesen Betrag von dem für $100 - S = V + W$ gefundenen ab, so ist damit auch V gegeben. Die Form, in der die vorstehende Gleichung für gewöhnlich geschrieben wird, lautet:

$$V + W + S = 100,$$

in Worten:

$$\text{Vollfarbe} + \text{Weißgehalt} + \text{Schwarzgehalt} = 100.$$

Ich muß gestehen, daß mir diese Gleichung sehr viel Nachdenken verursacht hat, denn man kann nicht ohne weiteres einsehen, welche Maßeinheit den drei so verschieden aussehenden Größen V, W und S zugrunde gelegt werden muß. Das Spektralphotometer läßt in seiner Beschränkung der Messung auf bestimmte Wellenlängen ein solches Bedenken gar nicht aufkommen, denn es mißt die Werte W und $V + W$ — siehe nebenstehende Fig. 16 — an einer Reihe von Stellen λ_1, λ_2 . . . des Spektrums,

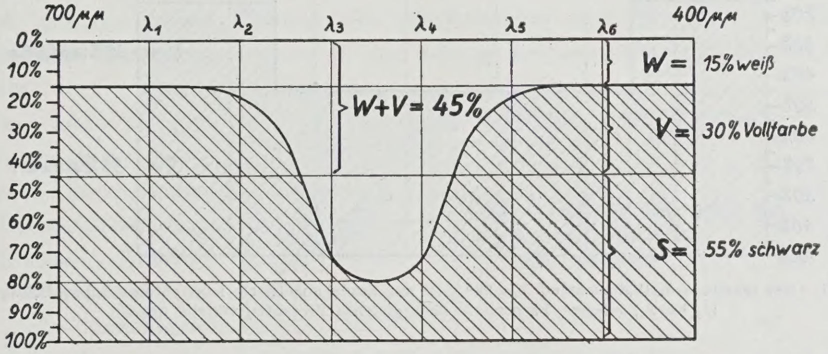


Fig. 16. Das Durchlaßgebiet liege im Grün zwischen λ_2 und λ_5, mit dem chromatischen Schwerpunkt zwischen λ_3 und λ_4. Bei der Messung des S-Gehaltes habe sich der Mittelwert $W + V = 45\,\%$ und bei der Messung des $W =$ Gehaltes $W = 15\,\%$ ergeben. Somit ist $V = 30\,\%$.

allerdings mit dem Erfolg, daß die Werte $V + W$ und damit auch der Schwarzgehalt $S = 100 - (V + W)$ von der Wahl der Wellenlänge innerhalb des Durchlaßgebietes des Paßfilters abhängen. In unserem Falle aber, wo das Auge über die Gesamtwirkung des durchgelassenen Lichtes zu urteilen hat, liegt die Sache anders. Wir werden für V und S je einen Mittelwert erhalten, wobei noch zu beachten ist, daß man bei der Messung von S nicht beliebig enge, beliebig weite oder beliebig gelegene Paßfilter verwenden darf. Es ist nicht zu verkennen, daß hier eine Fehlerquelle vorliegt, die leicht zu einer Fälschung der Messung des S-Gehaltes führt und die es daher dem Beobachter zur Pflicht macht, bei der Auswahl des Paßfilters besondere Sorgfalt walten zu lassen.

Wilhelm Ostwald nennt den nach dem vorstehenden Verfahren erhaltenen Mittelwert für V Vollfarbe und versteht darunter diejenige Farbe (nach ihm Farbenhalb oder besser noch Spektrumshalb genannt), die durch das Zusammenwirken des über die Hälfte des Spektrums sich erstreckenden Spektralbezirks zustande kommt und dessen Helligkeit gegeben ist durch die Ordinate des in umstehender Fig. 17 eingetragenen Mittelwertes V. Farbkörper mit einem so scharf begrenzten Durchlaßgebiet gibt es natürlich nicht, sie haben nur graphische Bedeutung und können auch

nur künstlich durch Abblendung von Teilen eines mit einem Spektralapparat hergestellten Spektrums erzeugt werden.

Die Verwendung unseres Stufenphotometers zur Ostwaldschen Farbenmessung gestaltet sich nunmehr wie folgt:

Zuerst haben wir dem Apparat seine Nullstellung zu geben. Das geschieht in der Weise (siehe Fig. 1 im Januarheft), daß wir links und rechts auf den Objekttisch je eine Barytweißplatte legen und den Apparat so dem Tageslicht aussetzen, daß nach vorheriger Einstellung der Meßschraube auf 100 die beiden Hälften des Gesichtsfeldes gleich hell erscheinen.

Alsdann ersetzen wir die Barytweißplatte links durch den zu messenden Farbaufstrich, legen das ihm entsprechende Paßfilter auf das Okular und stellen durch Drehen an der Meßschraube auf gleiche Helligkeit ein. Ergibt die Ablesung an der Meßschraube z. B. den Wert $60\,^0/_0$, so ist der S-Gehalt des Farbaufstrichs $= 40\,^0/_0$. In gleicher Weise geschieht die Messung des W-Gehaltes — das Ergebnis der Ablesung — unter Benutzung eines passend gewählten Sperrfilters.

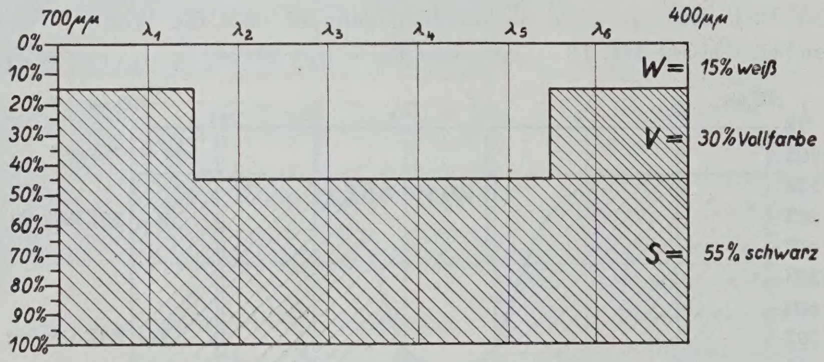


Fig. 17. Der erhaltene Helligkeitsanteil $V = 30\,^0/_0$ ist auf das symmetrisch zum chromatischen Schwerpunkt (λ_3 bis λ_4) gelegene Farbenhalb nach gleichen Prozenten verteilt worden.

Um bei unserem Photometer eine bequeme Einschaltung eines Farbfilters und seine Auswechslung gegen ein anderes zu ermöglichen, sind die oben genannten sieben Farbfilter auf einer zwischen dem Gesichtsfeld und dem Okular eingesetzten Drehscheibe angebracht worden. Eine achte Öffnung auf ihr bleibt frei für die Betrachtung des Gesichtsfeldes auch ohne Filter und für den Gebrauch anderer Filter, die dann einfach oben auf das Okular gelegt werden. In dem Deckel des Prismengehäuses ist ein Fensterchen angebracht, durch das man die Nummer des gerade im Okular befindlichen Farbfilters ablesen kann. Die sieben Farbfilter sind abweichend von der Ostwaldschen Bezeichnung, aber in der gleichen Reihenfolge von rot nach blau mit I, II ... VII bezeichnet. Ich habe diese Bezeichnung gewählt, weil mir die Bestrebungen, für alle Fälle der Farbmessung ausreichende und einwandfreie Paßfilter zu erhalten — ein Nachteil der obigen Filter 4, 3 und 3a ist z. B. der, daß neben dem Durchlaßgebiet im Blau auch noch Teile vom äußersten Rot (siehe Fig. 15) durchgelassen werden — noch nicht als abgeschlossen erscheinen. An diesen Bestrebungen beteiligen sich außer den oben genannten Herren v. Lagorio und Krüger noch die Lichtfilterfabrik Lifa in Augsburg[1]) und nicht zuletzt auch mein Kollege im Zeisswerk, Herr Dr. C. Gundlach.

---

[1]) Siehe deren Katalog über Lichtfilter für wissenschaftliche Zwecke. — Des weiteren sei auf die Schrift von Dr. A. v. Hübl: „Die Lichtfilter“, II. Auflage 1921, hingewiesen.

Um daher dem Beobachter die Möglichkeit zu lassen, die auf der Drehscheibe befindlichen Farbfilter gegen andere auszuwechseln, ist in dem Deckel des Gehäuses ein leicht zu öffnendes Fenster angebracht, durch das man mit Hilfe des dem Apparat beigegebenen Schlüssels mit Kreisklemmung die Auswechslung vornehmen kann. Als Filter kommen nur durch aufgekittete Glasplatten geschützte Farbfolien in Anwendung. Jedes dieser Filter kommt in eine nach Lehre gearbeitete Metallfassung. Die Firma ist daher in der Lage und bereit, eingesandte Farbfolien — Größe ca. 15 mm — so zu fassen und nachzuliefern, daß sie ohne weiteres in die Drehscheibe eingesetzt werden können.

Die Forderung, daß die Farbe des Paßfilters mit der des Objektes übereinstimmt, kann für den Fall, daß durchsichtige farbige Glasplatten, die Filter selbst oder farbige Flüssigkeiten, diese in Glasgefäßen mit gerader Durchsicht, auf ihren S-Gehalt untersucht werden sollen, in größter Vollkommenheit dadurch erfüllt werden, daß man ein zweites, ebensolches Präparat auf das Okular legt und durch dieses die beiden Gesichtsfeldhälften betrachtet. Die Versuchsanordnung ist hierbei so abzuändern, daß man nach Beseitigung des aushängbaren Spiegels die beiden Barytweißplatten in einem Abstand von 60 mm voneinander auf die Bodenplatte des Apparates legt. Über die linke Öffnung des Objekttisches legt man das zu untersuchende durchsichtige Präparat, auf die rechte Öffnung des Objekttisches zum Ausgleich des Reflexionsverlustes beim Eintritt des Lichtes in das farbige Präparat eine durchsichtige farblose Glasplatte.

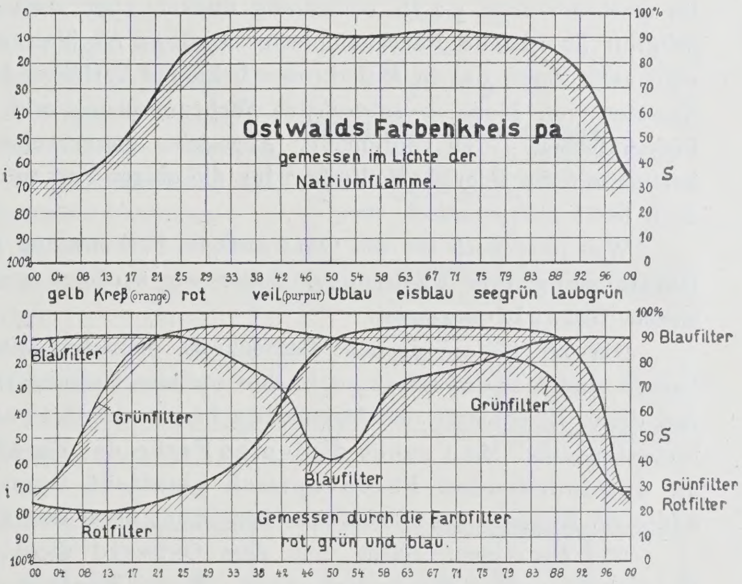


Fig. 18.

Um auch einige Messungsergebnisse vorlegen zu können, habe ich die Farbtäfelchen des Ostwaldschen 24 teiligen Farbkreises *pa* auf Papier, als diejenigen Objekte, die mir in erster Linie einer näheren Untersuchung wert erschienen, zunächst ohne jedes Filter, allein bei dem Licht der Natriumflamme in der Dunkelkammer und unter Benutzung der Barytweißplatte als Vergleichsobjekt gemessen. Das Resultat ist durch die obere Kurve in Fig. 18 wiedergegeben. Wie man sieht, ist die gemessene Helligkeit i, das Ergehnis der direkten Ablesung an der Trommel am größten für die Farben *pa* 00, 04 und 08. Sie nimmt von hier aus gleichmäßig nach beiden Seiten ab; vollständige Dunkelheit wird an keiner Stelle erreicht, was wohl darauf zurückzuführen ist, daß von der Oberfläche des betreffenden Farbfilters nicht allein bestimmte Mengen des gelben Lichtes der Natriumflamme, sondern auch noch das in der Bunsenflamme enthaltene bläuliche Licht — siehe die Vergrößerung der Werte i bei *pa* 50 — diffus zurückgeworfen wird.

Die drei Kurven in dem unteren Teil der Fig. 18 sind das Ergebnis einer

Messungsreihe, die ich ebenfalls an dem 24teiligen Farbenkreis *pa*, diesmal aber bei Tageslichtbeleuchtung mit den drei Farbfiltern rot (2), grün (5) und Ublau (3a) ausgeführt habe. Wie man sofort sieht, haben die beiden Kurven für rot und blau ihr Maximum für *i* da im Ostwaldschen Farbenkreis *pa*, wo auch die Farben rot und blau gelegen sind. Wir können aus den Kurven auch sofort schließen, daß der Farbaufstrich *pa* 25 rot den *S*-Gehalt 30%, und der Farbaufstrich 50 Ublau den *S*-Gehalt 41% haben. Demgegenüber zeigt die Kurve für grün einen ganz abnormen Verlauf, denn das Maximum der Helligkeit (72%) liegt bei *pa* 00 (gelb), während die Farbe 75 grün sich mit der Helligkeit 16 und dem *S*-Gehalt 84% kundtut.

Ich habe dann noch, um ganz sicher zu gehen, den *S*-Gehalt von *pa* 75 grün mit zwei anderen Grünfiltern gemessen, und zwar mit dem Lifa-Filter 411 grün und mit dem Ostwaldschen Grünfilter 4. Das Durchlaßgebiet von 411 liegt zwischen 5 und 4. Es wurde erhalten mit 411 der Wert $S = 82\%$ und mit 4 der Wert $S = 75\%$. Man sieht auch hieraus, daß die Messung des *S*-Gehaltes von der Beschaffenheit des Paßfilters abhängt.

Von dem großen *S*-Gehalt des Farbaufstrichs *pa* 75 grün kann man sich auch ohne Photometer durch einen einfachen Versuch leicht überzeugen. Man lege *pa* 75 grün neben die Barytweißplatte und dazu noch *pa* 00 gelb auf den Tisch und betrachte sie bei Tages- oder Lampenlicht durch eines der vorgenannten Grünfilter. Es erscheint dann *pa* 75 vollständig dunkel, aber auch *pa* 00 weniger hell als die hellgrün aussehende Barytweißplatte. Daß *pa* 50 blau einen hohen *S*-Gehalt hat, wird auch durch das in Malerkreisen bekannte Verfahren bestätigt, helle Farben durch Zusetzen von blau — subtraktive Farbenmischung [wie bei allen Mischungen von Pigmentfarben — zu verdunkeln. Angesichts dieser hohen Zahlen für den *S*-Gehalt kommt mir der Begriff „Vollfarbe" für die obigen Farbaufstriche des Farbenkreises *pa* doch recht problematisch vor.

Was jetzt noch für die Ostwaldsche Farbmessung zu tun übrig bleibt, ist die Bestimmung des Farbtones. Sehen wir zunächst einmal zu, welches Verfahren hierbei Ostwald anwendet.

Die im Ostwaldschen Farbenkreis diametral einander gegenüberstehenden Farben sind Gegenfarben, d. h. ihre optische Messung ergibt ein neutrales Grau. Auf dieser Eigenschaft der Gegenfarben beruht das Ostwaldsche Verfahren der Farbtonbestimmung. Man sucht diejenige Farbe des Farbkreises auf, die mit der zu untersuchenden Farbe optisch gemischt Grau ergibt. Die um 50 verschiedene Nummer des Farbkreises bezeichnet dann den gesuchten Farbton.

Das Instrument selbst, mit dem Ostwald diese Messung ausführt, ist ein Polarisationsfarbenmischapparat, „Pomi" genannt. Er hat im wesentlichen die gleiche Einrichtung wie das weiter oben von mir erwähnte Hering-Zeissische Photometer. Er besteht wie dieses aus einem vertikalstehenden Rohr mit einem darin eingesetzten geradsichtigen Kalkspatprisma (*KP* in Fig. 19) und einem darüber gesetzten drehbaren Nikol *N* mit Teilkreis und Index. Der Unterschied zwischen den beiden Apparaten ist nur der, daß beim „Pomi" das untere Ende des Rohres vollständig offen ist, während es beim Heringschen Photometer durch eine Metallplatte mit zwei halbkreisförmigen Blenden geschlossen ist.

Auf den von Tageslicht beleuchteten Tisch unterhalb des Rohres legt Ostwald die auf ihre Eigenschaft als Gegenfarben zu prüfenden Farbtäfelchen *a* und *b* (Fig. 20) so nebeneinander, daß ihre Trennungslinie auf der Richtung, in der das eine Bild

gegen das andere verschoben erscheint, senkrecht steht. Ist dann die Breite jedes der beiden Täfelchen so bemessen, daß sie gleich ist dem Abstand des ordentlichen vom außerordentlichen Bild, so sieht man beim Durchblick durch das Rohr im allgemeinen drei Bilder (Fig. 21), von denen das mittlere von der Übereinanderlagerung des ordentlichen Bildes b_0 mit dem außerordentlichen a_e herrührt. Alsdann hat der Beobachter die Aufgabe, diejenige Winkelstellung des Nikols aufzusuchen, in der die gesuchte Graufärbung des mittleren Streifens eintritt.

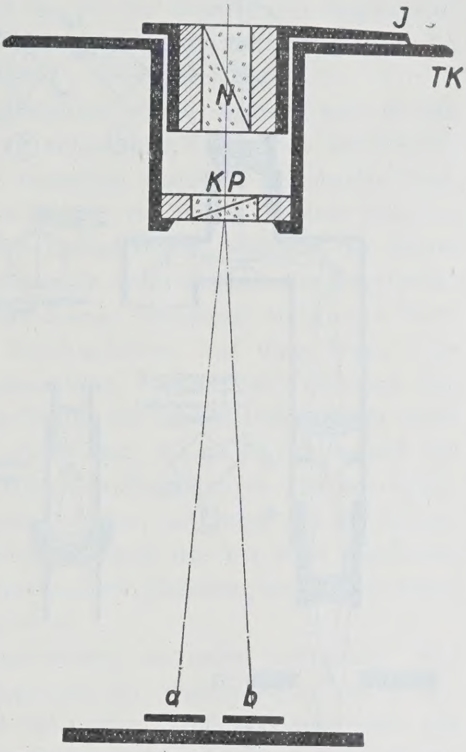


Fig. 19. Der von Wilhelm Ostwald zur Farbtonbestimmung benutzte Farbenmischapparat, „Pomi" genannt.

Nun aber wird das Urteil über den Charakter der Graufärbung des mittleren Streifens nicht unerheblich beeinträchtigt durch die Nachbarschaft der beiden verschiedenfarbigen Bilder a_0 und b_e und durch die von ihnen ausgehende Kontrastwirkung[1]). Um sich dieser Störung tunlichst zu entziehen, wendet Ostwald einen hübschen Kunstgriff an, der darin besteht, daß er quer über die beiden Farbtäfelchen a und b (siehe Fig. 22) ein neutrales Grauplättchen legt, dessen Länge mindestens so groß ist, wie die beiden Breiten von a und b zusammengenommen und dessen Aussehen dem Grau der Mischung tunlichst nahekommt. Es ist gewiß, daß hierdurch das Urteil über den neutralen Charakter der Graumischung wesentlich erleichtert wird. Aber es wäre besser, wenn die beiden farbigen Felder a_0 und b_e gar nicht da wären, und dem Auge des Beobachters würden nur die in Fig. 23 stark umrahmten beiden Felder zum Vergleich dargeboten.

Das wird mit dem im folgenden beschriebenen neuen Verfahren erreicht. Es stimmt mit dem Ostwaldschen insofern überein, als auch hier die Farbe aufgesucht wird, die mit der Farbe der Vorlage gemischt ein neutrales Grau ergibt, nur sind

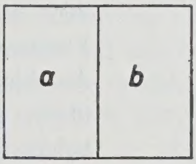


Fig. 20.

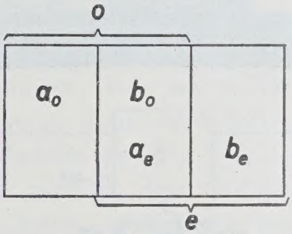


Fig. 21.

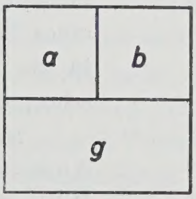


Fig. 22.

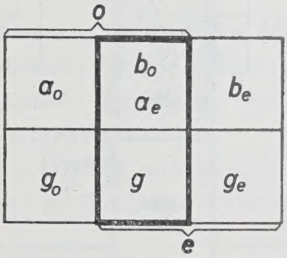


Fig. 23.

[1]) Der gleichen Unsicherheit begegnen wir bei unserem Photometer, wenn wir die beiden Gegenfarben durch das Seite 38 erwähnte Kalkspatprisma optisch mischen und durch Einstellung der Meßschraube die Graufärbung des mittleren Farbstreifens herbeizuführen suchen. Die Ablesung an der Meßtrommel dividiert durch 100 stellt dann das Verhältnis der beiderseitigen Farbanteile zur Graufärbung dar.

die Mittel der Farbenmischung ganz andere. Das Pomi-Instrumentchen wird nicht mehr benötigt. Die Untersuchung wird mit dem Stufenphotometer ausgeführt. Die Versuchsanordnung ist aus Fig. 24 zu ersehen. Das Verfahren ist folgendes:

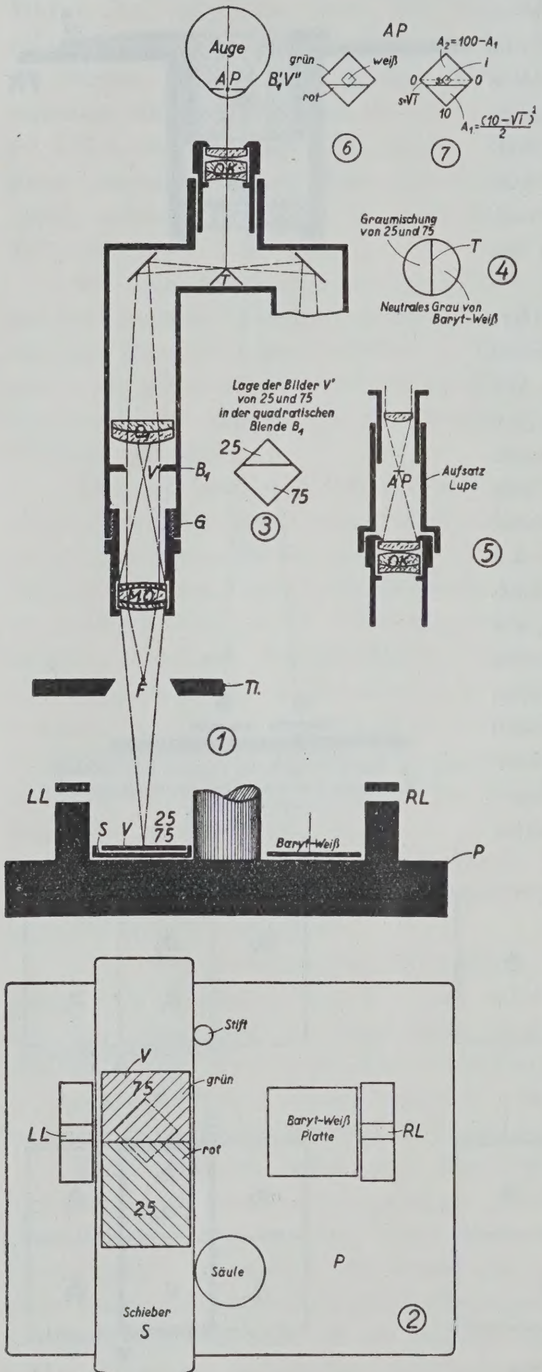


Fig. 24. Die Verwendung des Stufenphotometers zur Farbtonbestimmung.

Wir hängen den Spiegel unter dem Objekttisch aus, legen auf die Bodenplatte rechts unter die Öffnung des Objekttisches eine Barytweißplatte und unter die andere Öffnung (links) das dem Photometer für diesen Zweck beigegebene Schieberbrettchen (*S* in Fig. 24). Auf dieses Brettchen legen wir die miteinander zu vergleichenden Farbtäfelchen (z. B. 25 und 75 des Ostwaldschen Farbenkreises *pa*) so auf, daß sie entweder in einer scharfen Trennungslinie aneinanderstoßen, oder man läßt dasdem Beobachter zugewandte Farbtäfelchen, wie in Fig. 24 angedeutet, ein wenig über das ihm abgewandte übergreifen. Dann ist man sicher, daß der Rand keinen Schatten wirft. Auch ist erforderlichenfalls durch eine geeignete Unterlage dafür zu sorgen, daß das obenliegende Objekt in eine zur unteren parallele Ebene zu liegen kommt. Alsdann schrauben wir an die Gewinde *G* des Photometers die beiden früher erwähnten Mikroskopobjektive $f = 30$ mm, *MO* in (1) an. Wenn wir dann dem Photometer seine tiefste, durch einen Anschlag begrenzte Höheneinstellung am Stativ geben, so fällt das Bild *V'* der beiden Farbtäfelchen in die Ebene der quadratischen Blende (3) in Fig. 24. In gleicher Weise kommt dann auf der rechten Seite des Photometers ein Bild eines Teiles der weißen Barytweißplatte in die Ebene der mit Hilfe der Meßschraube verstellbaren Blende zu liegen.

In der über dem Okular gelegenen Austrittspupille *AP*, die man mit Hilfe der Aufsatzlinse (5) bequem überschauen kann, finden sich dann die vorstehend genannten Bilder alle zusammen wieder. Man sieht das große Quadrat durch eine horizontale Gerade in zwei Felder zerlegt, von denen das eine rot und das andere grün gefärbt ist und darüber gelagert das in seinen Dimensionen von der Einstellung der Meßschraube abhängige

weiße Quadrat (6) in Fig. 24. Verschiebt man das Brettchen mit den darauf liegenden beiden Farbtäfelchen in der Richtung senkrecht zur Trennungslinie, wobei das Lager *LL* für den ausgehängten Spiegel, die Säule und ein in die Bodenplatte eingesetzter Stift als Führungsleisten dienen, so verschiebt sich auch in der Austrittspupille die Trennungslinie zwischen rot und grün.

Schaut man jetzt, nachdem man die Aufsatzlinse wieder entfernt hat, in das Photometer, so werden die sämtlichen in der *AP* enthaltenen Bilder von der Pupille des Auges aufgenommen, und auf der Netzhaut entstehen dann die in scharfer Trennungslinie aneinanderstoßenden Halbkreise (4) in Fig. 24, von denen der links gelegene ausgefüllt ist mit dem Farbengemisch der beiden Farbplättchen, während der rechte Halbkreis das durch Einengung der Meßblende erzeugte neutrale Grau der Barytweißplatte enthält. Wie man sieht, vollzieht sich bei diesem Verfahren der ganze Vorgang der Farbenmischung im Auge des Beobachters, auf dem Wege von der Pupille zur Netzhaut. Wir suchen jetzt durch vorsichtiges Verrücken des Schiebers diejenige Lage auf, in der die linke Hälfte des Gesichtsfeldes nicht mehr rot oder grün, sondern grau aussieht. Dann stellt man die rechte Hälfte auf das gleiche Grau ein und wiederholt erforderlichenfalls beide Einstellungen, die bei einiger Übung bequem gleichzeitig vorgenommen werden können, so lange, bis die beiden Halbkreise des Gesichtsfeldes gleichgrau aussehen. Gelingt das bei einer gegebenen Vorlage nicht, so muß man den Versuch mit einer anderen Nummer des Farbenkreises wiederholen, bis das gewünschte Resultat erreicht ist.

Damit ist unsere Aufgabe der Farbtonbestimmung als gelöst anzusehen. Wir vergleichen dann noch zur Probe die Farbvorlage mit der gleichfarbigen um 50 abweichenden Nummer des Farbkreises unter den bekannten Versuchsbedingungen: die eine Farbe links, die andere, die hellere auf den Objekttisch rechts und suchen durch Verdunkelung der rechten Hälfte des Gesichtsfeldes Übereinstimmung im Aussehen der beiden Halbkreise zu erzielen. Dabei ist zu empfehlen, die Objekte nicht direkt auf den Objekttisch, sondern auf die dem Apparat für die Zwecke der Glanzmessung beigegebene Doppelwippe — sie ist in Fig. 1, S. 36 rechts neben dem Photometer sichtbar — zu legen, die man vorher auf den Objekttisch aufsetzt. Jede der beiden Wippen gestattet eine von der anderen unabhängige Betätigung. Links und rechts angebrachte Sektorteilungen (0^0, 10^0, 20^0, 30^0) dienen als Maßstab für die Neigung der Auflagefläche zur Horizontalen. So ist die Möglichkeit gegeben, den von der Oberfläche des Farbstoffes herrührenden Weißgehalt zu modifizieren und diesen den tatsächlichen Verhältnissen beiderseits anzupassen.

Es liegt der Gedanke nahe, dieses Prüfungsverfahren gleich als Hilfsmittel für die Farbtonbestimmung zu verwenden, und es hätte das auch den Vorteil, daß man den Umweg über die Gegenfarbe nicht mehr zu machen braucht. Die Praxis wird darüber zu entscheiden haben, welcher Weg der beste und einfachste ist.

Wir müssen noch einmal zu unserer Versuchsanordnung in Fig. 24 zurückkehren, da diese nicht allein zur Farbtonbestimmung, sondern auch zu einigen weiteren Messungen verwendet werden kann.

Haben wir nämlich das Schieberbrettchen und ebenso die Meßschraube des Photometers so eingestellt, daß die beiden Halbkreise gleichmäßig grau erscheinen, so ergibt die Ablesung an der Trommelteilung der Meßschraube sofort den Grauwert, der durch die Mischung der beiden Farben zustande kommt. So z. B. ergab die Mischung von *pa* 25 und 75 den Grauwert 15, entsprechend dem Buchstaben *i* der Ostwaldschen Graureihe.

Das Verfahren gestattet aber auch die Flächenanteile A_1 und A_2 zu ermitteln, mit denen die beiden Farben an der Graubildung beteiligt sind. Setzen wir nach erfolgter Graueinstellung unsere Aufsatzlinse auf und betrachten die in der *AP* gelegenen Bildchen, so sehen wir, daß an der Graubildung das Grün von *pa* 75 in sehr viel höherem Maße beteiligt ist als das Rot von *pa* 25, denn die Trennungslinie zwischen rot und grün — Fig. (6) in Fig. 24 ist eine ungefähre Wiedergabe der Größenverhältnisse — liegt ganz abseits von der horizontalen Diagonale des großen Quadrats nach der roten Seite zu.

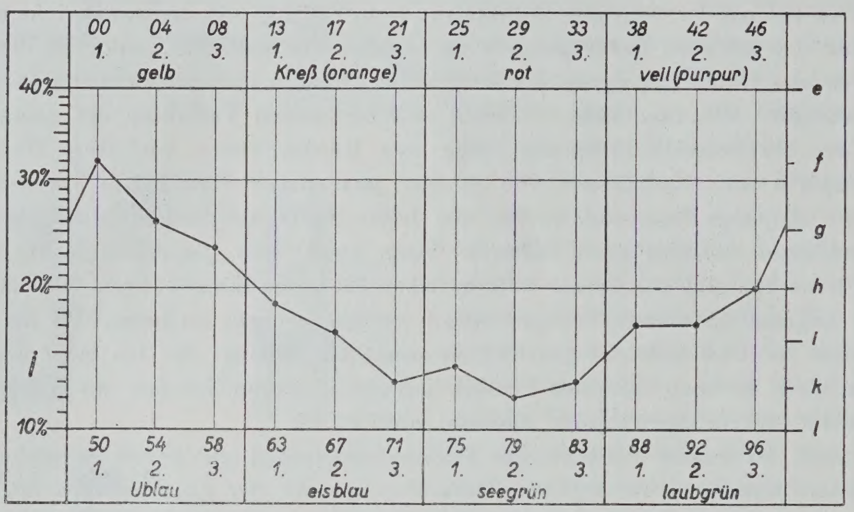


Fig. 25. Die durch optische Mischung der Gegenfarben des Ostwaldschen Farbenkreises *pa* erhaltenen Grauwerte.

Mit einer angenäherten Schätzung der beiderseitigen Anteile brauchen wir uns aber nicht zu begnügen, denn wir haben in unserer Meßschraube gleich das Mittel zur Hand, die Anteile A_1 und A_2 zu messen. Voraussetzung ist nur, daß der Apparat so justiert ist, daß die beiden Quadrate mit ihren Diagonalen in einer Geraden zusammenfallen. Die Messung geschieht in der Weise, daß wir das weiße Quadrat in seiner Größe mit Hilfe der Meßschraube so verändern — siehe Fig. (7) —, daß die in der Nähe der Trennungslinie gelegene Ecke des kleinen Quadrates mit der Trennungslinie zusammenfällt. Die Seite s des kleinen Quadrates ist dann gleich dem ihm gegenüberliegenden Abschnitt auf der Seite des großen Quadrates, wobei es nicht viel ausmacht, wenn die Trennungslinie nicht absolut genau parallel zur Diagonale des großen Quadrates gerichtet ist, weil die Seite des kleinen Quadrates dann gleich dem Mittelwert der beiderseitigen Abschnitte ist.

Nach dieser Einstellung lesen wir an der Meßschraube den Inhalt des kleinen Quadrates, für *pa* 25 und 75 den Wert $i = 9$ ab. Die Seite s ist also $= \sqrt{i} = 3$. Wollen wir den gesuchten Anteil der roten Fläche gleich in Prozenten angeben, so geben wir der Seite des großen Quadrates den Wert 10, so daß in unserem Beispiel der größere Abschnitt der Seite des großen Quadrates gleich wird $10 - \sqrt{i} = 7$. Die von Rot bedeckte Fläche A_1 ist dann gleich $\frac{1}{2}(10 - \sqrt{i})^2 = \frac{49}{2} = 24{,}5\,\%$ und der Anteil A_2 für grün gleich $100 - A_1 = 75{,}5\,\%$.

Nach dem vorstehend beschriebenen Verfahren habe ich dann noch die sämtlichen 12 Paare von Gegenfarben des 24teiligen Farbenkreises *pa* einer Prüfung unterworfen und dabei im großen und ganzen bestätigt gefunden, daß die einander

gegenüberstehenden Farben wirklich Gegenfarben sind. Die hierbei erzielten Grauwerte und die zur Graubildung erforderlichen Flächenanteile A_1 und A_2 habe ich in den beiden Figuren 25 und 26[1]) übersichtlich zusammengestellt. Ihr Inhalt ist ohne weiteres verständlich.

Ich sagte weiter oben, daß es nicht meine Absicht sei, in diesem Aufsatz schon in eine Kritik des Ostwaldschen Farbenkegels einzutreten. Wer die beiden vorstehenden Versuchsreihen, die ursprünglich nur als Beispiele für das vorbeschriebene Verfahren der Farbtonbestimmung dienen sollten, aufmerksam in ihren Ergebnissen betrachtet, wird sich selbst sagen müssen:

1. daß die durch optische Mischung zweier Gegenfarben des Farbenkreises *pa* erzeugte Graumischung für die verschiedenen Gegenfarbenpaare nicht, wie der Farbenkegel vorschreibt, an der gleichen Stelle, sondern an ziemlich stark voneinander abweichenden Stellen der Graureihe gelegen ist;

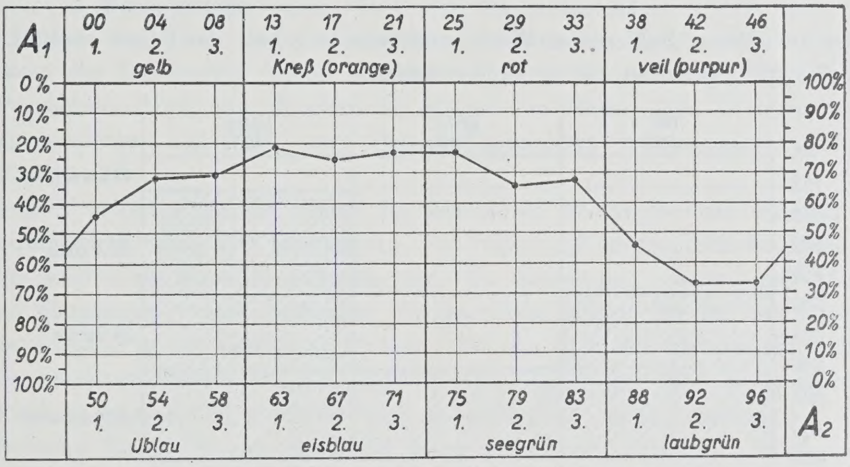


Fig. 26. Die an der erzeugten Graumischung beteiligten Flächenanteile A_1 und A_2 der einander gegenüberstehenden Gegenfarben des Farbenkreises *pa*. — Inzwischen habe ich diese Messungsreihe auch mit dem „Pomi" wiederholt und bin zu Resultaten gelangt, die mit den Angaben der obigen Figur fast vollkommen übereinstimmen. Die näheren Angaben erfolgen später.

2. daß das Verhältnis der Flächenanteile A_1 und A_2 zweier Gegenfarben im Moment ihrer optischen Vermischung zu Grau für jedes Gegenfarbenpaar ein anderes ist und von 1 ganz erheblich abweicht, daß ferner

3. diejenige Farbe, welche bei der Graubildung mit dem größeren Flächenanteil beteiligt ist, der Graureihe näher liegen muß als ihr Gegenüber im Farbenkreis, so daß

4. der Ostwaldsche Farbenkreis *pa* unmöglich eine Kreislinie sein kann.

Ich hatte weiter oben auf das von den Herren v. Hübl und Bloch ausgearbeitete Verfahren der Farbmessung hingewiesen, welches sich auf die bekannte Tatsache gründet, daß jede Farbe durch eine optische, d. h. additive Mischung aus Teilen der drei Grundfarben rot, grün und Ublau hergestellt werden kann und daß auch für diese Methode sich unser Photometer mit bestem Erfolg verwenden läßt. Die drei Farbfilter müssen natürlich so geartet sein, daß die durchgelassenen Lichtmengen, zu gleichen prozentualen Teilen gemischt, weiß ergeben, also ein Spektrum liefern, das mit dem des weißen Lichtes tunlichst übereinstimmt. Dieser Bedingung entsprechen von den obigen sieben Farbfiltern mit einiger Annäherung die Filter II (2), IV (5) und VII (3a).

Das Verfahren besteht darin, daß man für jedes der drei Filter in der gleichen Weise wie bei der Messung des *W*-Gehaltes nach Ostwald die übrigbleibende Lichtmenge ermittelt, jede gemessen in Prozenten der von der Barytweißplatte ausgehenden und von dem Filter durchgelassenen Lichtmenge. Durch diese drei Zahlen ist dann jede Farbe, die Graureihe mit inbegriffen, eindeutig gekennzeichnet, so daß sie mit Hilfe des synthetischen Verfahrens (von Hübl) jederzeit wieder hergestellt werden kann. Die nachstehende Tabelle gibt einige Beispiele dieser Art Messung:

Anteile rot	+	grün	+	Ublau	=	Farbe
100	+	100	+	100	=	weiß
50	+	50	+	50	=	grau
10	+	50	+	10	=	grün
55	+	10	+	60	=	purpur
60	+	50	+	5	=	gelb
15	+	40	+	70	=	eisblau, usw.

Wie man aus diesen Zahlen den Weiß- und Schwarzgehalt der Farbe ableitet, ist aus dem in Fig. 27 gegebenen Beispiel ersichtlich.

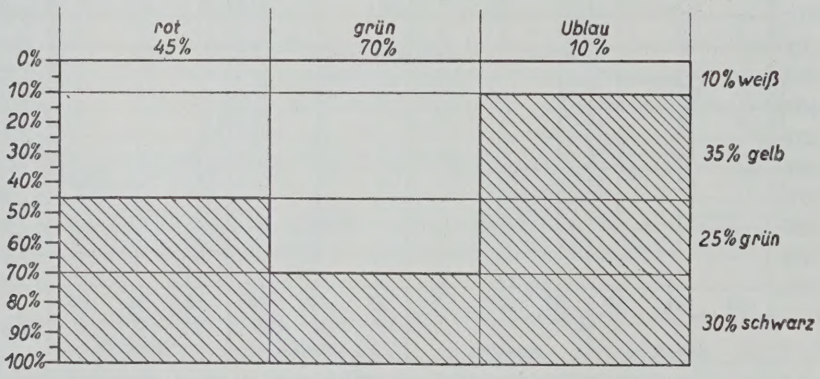


Fig. 27. Das Resultat der Farbenmischung ist ein trübes Laubgrün.

In dem Bestreben, Anschluß an die Ostwaldsche Bezeichnung des Farbtons zu erzielen, hat dann Herr Bloch noch ein Verfahren angegeben, welches ihm gestattet, aus den drei Zahlenwerten jedesmal die Nummer des Farbenkreises, also den Farbton zu berechnen. Im einzelnen sei dieserhalb auf die oben zitierte Blochsche Arbeit verwiesen, die auch wegen der darin erwähnten zahlreichen Anwendungsgebiete dieser Methode die größte Beachtung verdient.

Ein neuer Steilschachttheodolit für Nachtragsmessungen.

Von

Dr. Hermann Marchand in Cassel.

(Mitteilung aus den Feinwerkstätten F. W. Breithaupt & Sohn in Cassel.)

I. Allgemeine Richtlinien für die Konstruktion.

Bei den markscheiderischen Vermessungen unter Tage tritt seit einer Reihe von Jahren immer mehr das Bestreben hervor, diese Arbeiten in Feinmeßarbeiten und Nachtragsmessungen zu trennen. Hinsichtlich der Feinmessungen wird in erster Linie ein möglichst hoher Genauigkeitsgrad verlangt, da sie das grundlegende Gerippe liefern sollen, an die alle untergeordneten Messungen anzuschließen sind. Bei den

Nachtragsmessungen spielt die Genauigkeit eine geringere Rolle, sie soll nur denjenigen Grad erreichen, der für solche Zwischenmessungen mit Rücksicht auf den Abbau unbedingt erforderlich ist. Von einem Nachtragsinstrument wird vielmehr hauptsächlich gefordert werden müssen:

1. Anpassungsfähigkeit an die schwierigsten örtlichen Verhältnisse: Das Instrument muß nach Möglichkeit auch in sehr engen, steilen und winkligen Grubenräumen leicht und bequem zu handhaben sein.

2. Es muß mit Rücksicht auf die große Anzahl der einzelnen Aufstellungen ein schnelles und wirtschaftliches Arbeiten ermöglichen.

3. Durch die Messungen darf der Betrieb in keiner Weise gestört werden.

4. Das Meßgerät soll so leicht und kompendiös wie möglich sein und nicht aus zu viel Einzelteilen bestehen.

Während vor einigen Jahrzehnten die Nachtragsmessungen noch vorwiegend mit Hilfe von Bussolenzügen ausgeführt wurden, gestattet in neuerer Zeit der vermehrte Einbau von Eisen und die Benutzung elektrischer Kraft in den Gruben die Anwendung des Hängezeugs immer weniger. Man ist infolgedessen hauptsächlich im hochentwickelten deutschen Bergbau in steigendem Maße dazu übergegangen, die Nachtragsmessungen mit Hilfe von kleinen Theodoliten von geringerer Genauigkeit auszuführen.

Es gibt jedoch Fälle, in denen die bekannten Theodolitkonstruktionen für die Bedürfnisse der Praxis nicht ausreichen. So liegen z. B. im Siegerländer Erzbaubezirk besonders schwierige Abbauverhältnisse vor. In den engen, steilen und häufig verworfenen Erzgängen werden mitunter Polygonseiten nötig, für die an Raum nicht mehr als etwa 0,8 m zur Verfügung stehen. Da ein normaler kleiner Grubentheodolit bei ganz herausgezogenem Okularauszug in der Regel nur bis auf höchstens 1 m Objekte scharf einzustellen gestattet und außerdem an beiden Enden der Polygonseite genügend Raum für den Kopf des Beobachters vorhanden sein muß, so ist ersichtlich, daß bei den bisherigen instrumentellen Hilfsmitteln Messungen mit dem Theodolit ausgeschlossen sind. Allerdings sind solche kurzen Zielungen nicht allzu häufig, wo aber eine einzige derartige kurze Polygonseite auftritt, macht sie bisweilen die Anlage des ganzen Polygonzuges unmöglich. Aus diesem Grunde sind z. B. die Betriebsführer in den Siegerländer Gruben öfters genötigt, die für den Abbau erforderlichen eisernen Fahrten für Vermessungszwecke durch hölzerne ersetzen zu lassen, die Messungen mit dem Hängezeug auszuführen und hinterher wieder die eisernen Fahrten einzubauen. Auf diese Weise muß der Betrieb mitunter zwei bis drei Tage lang gestört werden. Ähnlich schwierige Abbauverhältnisse liegen teilweise auch im Waldenburger Steinkohlen- und im Mitteldeutschen Braunkohlenbergbau vor.

Veranlaßt durch diese Tatsachen und in dem Bestreben, den neueren Bedürfnissen und Wünschen der Markscheider nach Möglichkeit entgegen zu kommen, hat sich die bekannte Werkstätte geodätischer Präzisionsinstrumente von F. W. Breithaupt & Sohn in Cassel veranlaßt gesehen, nach Angabe des Verfassers eine Theodolitausrüstung für Nachtragsmessungen zu bringen, die die neuesten Fortschritte der instrumentellen Technik und Optik dem Markscheider dienstbar macht.

Das Instrument, das sich in mehrfacher Hinsicht von der üblichen Ausführung unterscheidet, ermöglicht dank eines besonderen (zum Patent angemeldeten) Objektivsystems noch Gegenstände im Abstande von nur 0,5 m, vom Objektiv aus gemessen, scharf einzustellen. Es ist nun aber ein bekanntes Gesetz der Fehlerfortpflanzung in Polygonzügen, daß kurze Zielweiten infolge der unvermeidlichen Zentrierungsfehler

außerordentlich schädlich wirken und daher nach Möglichkeit vermieden werden sollen. Bei Feinmessungen sind deshalb sehr kurze Seiten grundsätzlich auszuschließen. Es fragt sich aber, ob man nicht bei Nachtragsmessungen über die bisher übliche Grenze hinausgehen und im Notfalle sehr kurze Polygonseiten bis 0,5 m Länge zulassen darf. Daß dies erlaubt ist, sobald hinsichtlich der Zentrierung die geeigneten Vorkehrungsmaßnahmen getroffen werden, soll im folgenden gezeigt werden.

Da bei der Zulassung kurzer Polygonseiten auch die Anzahl der Theodolit- und Signal-Aufstellungen wächst, mußte für eine leichte und schnelle Möglichkeit der Aufstellung und Auswechselung des Theodolits und der Signale Sorge getragen werden, die auch von ungelernten Meßgehilfen nach kurzer Zeit ausgeführt werden kann. Zugleich mußte mit Rücksicht auf die Steilzielungen auf eine gute und schnelle Horizontierung Wert gelegt werden. Die Einrichtung muß zur Anwendung der Methode mit verlorenen Punkten geeignet sein, aber auch zwecks Anschluß an die Feinmessungen die Möglichkeit zur Zentrierung unter oder über vorhandenen Festpunkten geben. Die Längenmessungen sollen auch in Steilschächten auf optischem Wege ausgeführt werden können, da hier die Bandmessung häufig mit Lebensgefahr verbunden ist.

II. Dreifüße und Aufstellung.

Zur Zwangszentrierung wurde die Breithauptsche Steckhülseneinrichtung gewählt, da bei dieser allein nur einmalige Horizontierung des Dreifußes auf jeder Station erforderlich ist und nach dem Vertauschen von Signal und Theodolit die Vertikalachse ohne weiteres senkrecht steht. Im übrigen hat der Dreifuß jedoch eine völlige Umbildung erfahren. Gewöhnlich sind die Stellschrauben der Dreifüße (in Deutschland) in den Eckpunkten eines gleichseitigen Dreiecks angeordnet, weil diese symmetrische Aufstellung als die stabilste gilt. Die Horizontierung erfolgt dann bekanntlich in der Weise, daß bei drei beweglichen Stellschrauben die Horizontalstellung in einer Richtung mit Hilfe von zwei, in der dazu senkrechten Richtung mit Hilfe von einer Stellschraube erfolgt. Bei nur zwei beweglichen Stellschrauben (Freiberger Aufstellung) oder bei der amerikanischen Aufstellung mittels vier Stellschrauben (auch beim Hängetheodolit) erfolgt in beiden zueinander senkrechten Richtungen das Horizontieren durch gleichzeitiges Drehen zweier Stellschrauben in gleichem Maße und in gleichem oder entgegengesetztem Drehungssinne. In allen Fällen müssen die Operationen in beiden Richtungen nacheinander erfolgen. Eine Ausnahme hiervon bildet die Küntzelsche Aufstellung[1]), bei der an Stelle des Dreifußes eine Kippbewegung des Theodolitträgers um zwei zueinander senkrechte Achsen angewandt wird. Die Horizontierung erfolgt hierbei mittels nur einer Feinbewegungsschraube in jeder Richtung. Jedoch ruht der Theodolit auf den Gegenfedern der Feinbewegungsschrauben, so daß die Anwendung dieser Aufstellungsart mit Rücksicht auf die erforderliche Unveränderlichkeit der Lotrechtstellung bei Steilvisuren nicht ratsam erschien.

Es wurde vielmehr die Benutzung eines Dreifußes beibehalten; er hat als Grundlage ein gleichschenklig-rechtwinkliges Dreieck[2]). Ein Kippen des Instrumentes

---

[1]) *Mitt. a. d. Markscheidewesen 1912, S. 133.*

[2]) Nach einer kürzlichen Mitteilung seitens des Herrn Professor Wilski befindet sich im Markscheideinstitut der Technischen Hochschule zu Aachen ein nach Angabe von Professor Junge von C. Osterland in Freiberg gebautes Gruben-Signal mit Nußaufstellung und zwei Stellschrauben, dessen Unterstützungspunkte ebenfalls einen rechten Winkel miteinander bilden. Jedoch besitzt

über die Hypothenuse ist ausgeschlossen, weil das gegenüberliegende, nicht verstellbare Bein mittels einer Kugelpfanne auf der Grundplatte 1 festgehalten wird. Im übrigen fällt die Schwerpunktslinie innerhalb des Grunddreiecks. In die leichte, aber stabile, aus einem einzigen Gußstück ausgeführte Dreiecksplatte 2 sind parallel zu den Katheten zwei Kreuzlibellen eingebettet und gegen Beschädigungen und Veränderungen infolge geschützter Anordnung und spannungsfreier Lagerung gesichert Infolge der rechtwinkligen Grundform des Dreifußes kann jede Libelle für sich durch Drehen einer einzigen Stellschraube leicht zum Einspielen gebracht werden, ohne daß sich dabei die Blase der anderen Libelle ändert. Man kann deshalb den Dreifuß durch gleichzeitiges Drehen beider Stellschrauben (das nun nicht mehr in gleichem Maße zu erfolgen hat) gleichzeitig in zwei zueinander senkrechten Richtungen (und damit vollständig) horizontieren. Damit wird die zum Horizontieren erforderliche Zeit gegenüber früher auf weniger als die Hälfte herabgesetzt, da das mehrmalige Drehen des Theodolits oder Signals um 90^0 und das nachträgliche Beseitigen der sonst unvermeidlichen Restausschläge der Libellen nunmehr ebenfalls fortfällt.

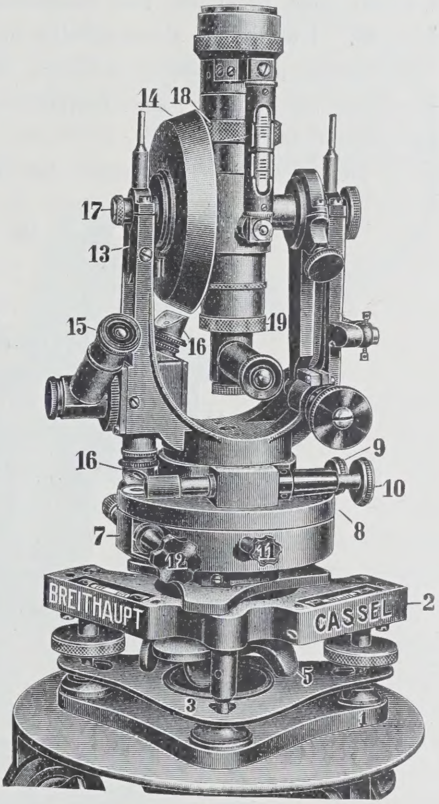


Fig. 1.

Die Grundplatte 1 aus Rotguß kann ohne weiteres auf einen Stativkopf oder Borchersschen Teller aufgesetzt und auf diesem zwecks Zentrierung verschoben werden. Der Dreifuß wird alsdann mittels der Federplatte 3 und dem Gewindestück 4 (oder mit Hilfe einer Schraubenstange) fest angezogen. Auch läßt sich die Grundplatte leicht so einrichten, daß man sie auf die Schwenkarme der Waldenburger Aufstellung, auf Einschraub- oder Einschlagbolzen aufsetzen kann. Das abgebildete Instrument besitzt noch, ähnlich wie bereits von Professor Cooke, Royal School of Mines, London 1905 angegeben, eine zweite Zentriermöglichkeit. Auf der glatt abgedrehten Dreiecksplatte 2 ist die durch drei Arme getragene Buchse für die Steckhülse um 25 mm nach jeder Richtung verschiebbar. Die Festklemmung erfolgt durch den mit Handhaben versehenen Klemmring 5, während der Theodolit oder das Signal durch die Flügelschraube 6 in der bei der Breithauptschen Steckhülseneinrichtung üblichen Weise doppelseitig geklemmt wird. Diese Zentriermöglichkeit dient zur optischen Ablotung (sie erfolgt bei dieser neuen Konstruktion mit dem zentrischen Hauptfernrohr, s. u.) und hat den Vorteil, daß bei horizontal gestelltem Dreifuß bei einer Verschiebung der Steckhülse die Vertikalachse senkrecht bleibt. Bei einer neueren Instrumentenserie ist diese Einrichtung zwecks Vereinfachung des Instrumentes wieder aufgegeben, da die verloren gegangene Horizontierung infolge der zweckmäßigen Anordnung des Dreifußes sehr schnell wieder hergestellt werden kann.

---

das Instrument nur eine Röhrenlibelle, so daß die Horizontierung in beiden Richtungen nacheinander erfolgen muß.

Die Störung der Vertikalstellung bei der Verschiebung läßt sich wesentlich verringern, wenn man dabei nach Möglichkeit eine Drehung des Instrumentes vermeidet[1]).

III. Der Theodolit.

Bei der Konstruktion des Theodolits selbst wurde von folgenden Gesichtspunkten ausgegangen. Die Messungen sind so weit als angängig auch in Steilschächten mit dem zentrischen Hauptfernrohr auszuführen. Die Beobachtungen mit dem Fernrohr und das Ablesen der Kreise soll in Anbetracht der steilen Visuren in beiden Fernrohrlagen bei möglichst bequemer Kopfhaltung des Beobachters und ohne Standwechsel auch in engen und beschränkten Grubenräumen schnell und sicher erfolgen können. Diejenigen Bestandteile des Instrumentes, von denen in erster Linie die Genauigkeit der Messung abhängt, müssen gegen Veränderungen und Beschädigungen geschützt sein. Das ganze Instrument soll auch in der Dunkelheit leicht und bequem zu handhaben sein.

Dementsprechend wurde der Horizontalkreis so weit als möglich nach unten verlegt; er befindet sich mit den Klemmarmen für die Alhidaden- und Kreisbewegung vollkommen in einem Gehäuse eingekapselt, das zur einen Hälfte aus der tellerförmig erweiterten Steckhülse 7 (Fig. 2), zur anderen Hälfte aus der staubdicht damit abschließenden Verdeckung 8 des Horizontalkreises besteht. Das Repetitionsachsensystem, das mit größter Präzision eingeschliffen ist, wird dabei ebenso lang geführt wie bei einem normalen kleinen Grubentheodoliten. Aus dem Gehäuse ragen nur die Klemm- und Feinbewegungsknöpfe für die Alhidaden und Kreiseinstellung 9, 10 bzw. 11, 12 hervor, die in üblicher Weise durch verschiedene Formgebung gegen Verwechselungen geschützt und sehr übersichtlich und handlich angeordnet sind.

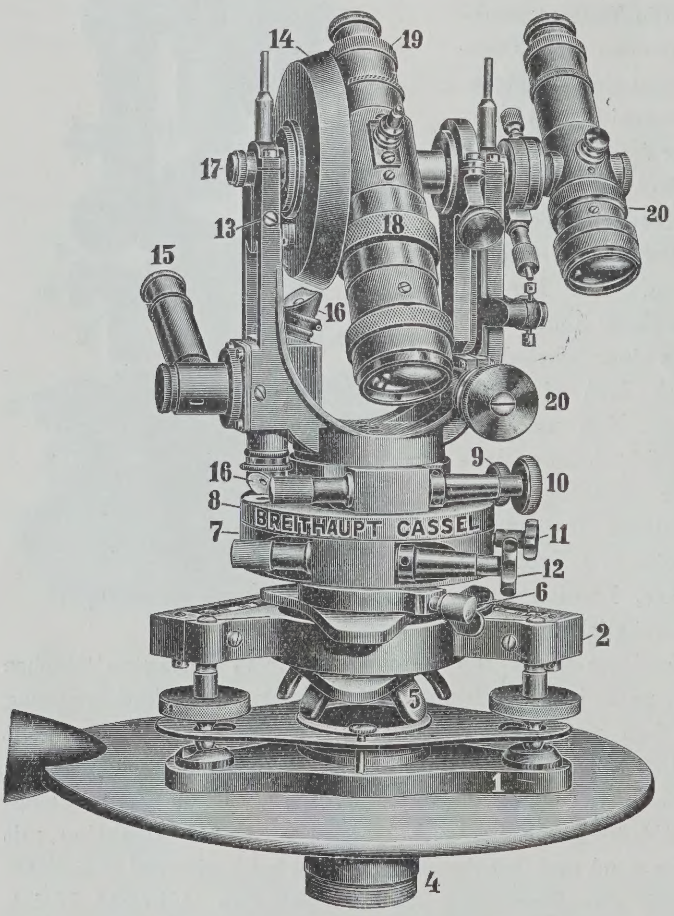


Fig. 2.

[1]) Nach einer kürzlichen Mitteilung von Herrn Prof. Cooke hat er bereits 1907 in *Boulton's Practical Coal Mining, Vol. 6, S. 224 (1907)* darauf hingewiesen. Eine mechanische Verhinderung der Drehbewegung findet bei der neuen Breithauptschen Kreuzschlittenverschiebung statt. Vgl. Marchand, Über Fortschritte im Bau der Grubenvermessungsinstrumente, *Österr. Montanist. Rundschau 1924 Nr. 17.*

Das ganze Unterteil läßt sich bequem und sicher in den Steckhülsendreifuß einsetzen und wieder herausnehmen. Will man die Achsen und Buchsen des Repetitionsachsensystems ölen, so kann man nach Abschrauben der Achsenmutter und der Klemmknöpfe 9, 11 den Theodoliten in üblicher Weise leicht auseinandernehmen und wieder zusammensetzen.

Der Höhenkreis hat den gleichen Durchmesser von 70 mm wie der Horizontalkreis; er ist durch die konische Verdeckung 14 gut gegen Staub und Beschädigung geschützt. Die Ablesung beider Kreise erfolgt durch Strichmikroskope mittels eines einzigen schwenkbaren Okulars 15. Man sieht die Bilder beider Kreise übereinander (Fig. 3) und liest an einem einzigen vertikalen Strich beide Teilungen gleichzeitig ab. Die Kreise sind auf Silber in $^1/_6{}^0 = 10'$ oder in $^1/_{12}{}^0 = 5$ geteilt und mikroskopisch von Grad zu Grad beziffert; $^1/_{10}$ des Intervalles $= 1'$ oder $30''$ läßt sich bequem und mit Sicherheit schätzen. Die Optik der Mikroskope besteht nur aus je einem Objektiv und Prisma und einem gemeinsamen justierbaren Strichplättchen und schwenkbarem Okular, sie ist also denkbar einfach und außerdem fest und staubsicher in den Träger 13 eingebaut. Eine Veränderung am schwenkbaren Okular 15 ist ohne jeden Einfluß auf die Ablesung. Der Horizontalkreis st mit *H*, der Vertikalkreis mit *V* bezeichnet. Sollen nur Horizontalwinkelmessungen ausgeführt werden, so läßt sich durch einen an der Verdeckung des Vertikalkreises angebrachten kleinen Schieber das Gesichtsfeld des Höhenkreises abblenden, so daß auch bei sehr schnellem Arbeiten Verwechselungen beider Kreise ausgeschlossen sind. Zur Höhenwinkelmessung dient eine Trägerlibelle in der Richtung der Visur. Die Leuchtblenden 16 lassen sich zwecks Reinigung der Außenflächen der Objektivlinsen (bei eventuellem Beschlagen durch Wasserdampf oder Staub) leicht zurückklappen. Die Helligkeit des Gesichtsfeldes ist auch bei schwacher Beleuchtung mit einer Öllampe noch ausreichend. Die drei Beleuchtungsstellen (16) für die Kreise und (17) für die Feldbeleuchtung durch die durchbohrte Horizontalachse liegen genau übereinander und sind daher auch im Dunkeln leicht zu finden. Selbstverständlich kann der Theodolit auch mit elektrischer Beleuchtungseinrichtung versehen werden.

Fig. 3.

Das Fernrohr ist geradsichtig von konstanter Länge (von nur 135 mm), vollkommen durchschlagbar und gegen das Eindringen von Staub und Nässe abgeschlossen. Es besitzt ein besonderes Objektivsystem, das nicht nur eine große äquivalente Brennweite (bei Einstellung auf Unendlich) von 165 mm hat, sondern auch eine Einstellung auf sehr nahe Objekte (Abstand vom Objektiv nur 0,5 m) gestattet. Die Einstellung der verschiebbaren Zwischenlinse erfolgt durch Drehen eines gerändelten Ringes 18; dieser Verschiebung würde bei einem entsprechenden gewöhnlichen Fernrohr ein Herausziehen des Okularauszuges um 81 mm entsprechen. Die Objektivlinse hat eine freie Öffnung von 23 mm, das Fernrohr hat bei Verwendung eines Okulares von 9 mm Brennweite eine 18-fache Vergrößerung und große Lichtstärke. Ein zweites gebrochenes schwenkbares Okular von 11 mm Brennweite (Vergrößerung 15-fach) ermöglicht den Gebrauch des Fernrohrs in sehr beengten Grubenräumen und gestattet Zielungen bis zum Zenit auf alle Entfernungen. Stellt man das Fernrohr mit Hilfe des Höhenkreises vertikal, so kann man daher mit dem Hauptfernrohr unmittelbar von der Firste optisch abloten. Auch ein Abloten nach der Sohle durch die durch-

bohrte Vertikalachse ist noch möglich, wenn man den Sohlenpunkt gut beleuchtet und den Spiegel für die Feldbeleuchtung so dreht, daß er die Lichtstrahlen nicht abblendet. Das Fernrohr trägt eine Kappe 19 zum Schutze der Fadenkreuzjustierschrauben, eine Nivellierlibelle wird auf Wunsch angebracht.

Für die optische Distanzmessung ist sowohl ein Fadendistanzmesser 1:100 als auch eine Tangentenschraube (Gefällschraube) vorgesehen. Der Klemmarm wurde 70 mm lang gemacht und dementsprechend eine Ganghöhe der Mikrometerschraube von 0,7 mm angenommen. Statt dessen kann auch das Verhältnis Ganghöhe: Klemmarm = 1:200 gewählt werden. Die Trommel ist in 100 Teile eingeteilt. Die mit größter Genauigkeit geschnittenen Gewindegänge der Meßschraube sind gegen das Eindringen von Staub und Schmutz durch verdeckte Anordnung geschützt.

Zur genauen Horizontierung und Prüfung der Achse bei Steilschachtmessungen ist eine Reiterlibelle beigegeben. Die Konstruktion erlaubt es mit dem zentrischen Fernrohr sämtliche Visuren nach oben und Tiefenwinkel bis 70° zu nehmen. Eine Visiereinrichtung erleichtert und beschleunigt die Einstellung der Signale auch bei Verwendung des gebrochenen Okulars. Für ganz steile Visuren nach unten ist ein zweites seitliches Fernrohr auf die Horizontalachse aufschraubbar, das mittels Klemm- und Feinbewegungsschraube dem Hauptfernrohr genau parallel gestellt werden kann. Das seitliche, ebenfalls verkürzte staubsicher abgeschlossene Fernrohr von nur 103 mm Länge hat 12fache Vergrößerung. Die Bewegung der Einstellinse erfolgt durch Drehen des gerändelten Ringes 20. (Fig. 2)

IV. Signale und Latten.

Als Signal ist ein selbstleuchtendes Spitzensignal, wie 1910 von Dr. Georg Breithaupt angegeben[1]) (Figur 4), vorgesehen, das mit einem Konus in den Steckhülsendreifuß eingesetzt werden kann. Die auswechselbare kleine Glühlampe befindet sich jetzt unter einer justierbaren massiven geschliffenen Glasspitze 21, die gegen Beschädigungen durch eine überschraubbare Kappe geschützt ist. Die Höhenlage der leuchtenden Spitze entspricht jener der Theodolitkippachse. Die Einstellung des Signals im Fernrohr bei der Horizontalwinkelmessung erfolgt derart, daß man mit dem horizontalen und den beiden vertikalen

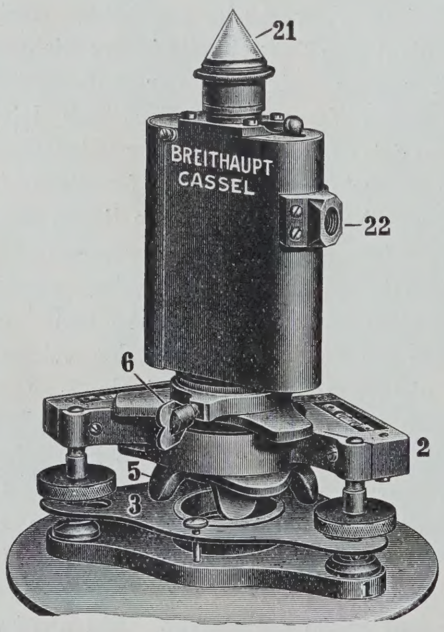


Fig. 4.

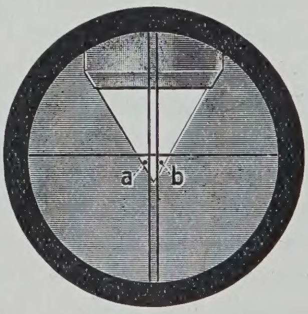


Fig. 5.

[1]) *Mitteil. a. d. Markscheidewesen 1911, S. 154.*

Fäden gleichgroße Dreiecke *a*, *b* (Fig. 5) abschneidet, sie ist als Keileinstellung außerordentlich scharf und wenig abhängig von der Zielweite (s. u.). Das Signal wird in aufrechter Stellung gebraucht, solange man mit dem zentrischen Fernrohr beobachten kann, also bei Neigungswinkeln bis 70° aufwärts oder abwärts.

Für die seltenen Visuren über 70° schien es nicht empfehlenswert, ein besonderes Steilschachtsignal zu schaffen. Um vielmehr die Zahl der Zubehörteile und ihr Gewicht zu verringern und eine kompendiöse Verpackung in zwei kleinen handlichen Kasten zu ermöglichen, wurde die Signallampe selbst derart eingerichtet, daß sie in Verbindung mit der Latte für die optische Distanzmessung auch als exzentrisches seitliches Signal oder als hängende leuchtende Spitze benutzt werden kann. Zu diesem Zweck läßt sich zunächst der konische Steckzapfen aus dem Boden des Signals heraus- und in den seitlichen Ansatz 22 hineinschrauben. Der Abstand der Spitze von der Vertikalachse ist dann gleich dem Abstand der beiden Fernrohre voneinander, die Höhe liegt jedoch um 88 mm tiefer als die Kippachse des Theodolits.

Die zusammenklappbare, 50 cm lange Latte aus Mahagoniholz für die Distanzmessung läßt sich sowohl mit ihrem Konus in dem Steckhülsendreifuß lotrecht aufstellen, auch kann sie mit einem drehbaren Zapfen seitlich an der vertikalen oder wagerechten Signallampe befestigt und mit Hilfe eines Diopters lotrecht zur Ziellinie gestellt werden. Die Latten tragen auf beiden Seiten je zwei Keilmarken im Abstand von 500 mm bzw. 200 mm für die Distanzmessung nach der Methode von Hogrewe für längere bzw. kurze Zielweiten. Außerdem ist eine zweckentsprechende Unterteilung in Zentimeter, Halbzentimeter und Millimeter für die Distanzmessung mit dem Fadendistanzmesser oder dem Breithauptschen Distanzmesser auf Glas vorgesehen.

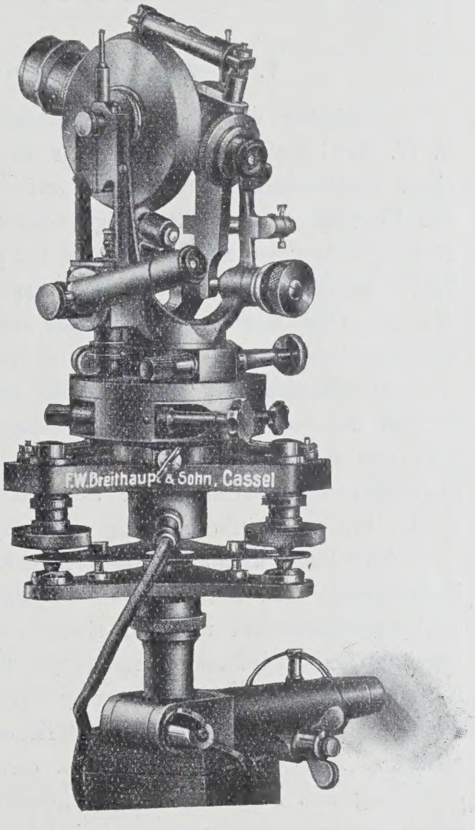


Fig. 6.
Aufstellung auf Wandarm mit elektrischer Beleuchtung.

Für ganz steile Visuren von unten nach oben ist es ratsam, die Lampe als hängende leuchtende Spitze zu verwenden. Dies geschieht in einfachster Weise mit Hilfe eines zylindrischen Verbindungsstücks, das an beiden Enden mit gleichem Gewinde versehen ist, am unteren Ende die Signallampe trägt und mit dem anderen Ende von unten in den Steckzapfen der vertikalen Distanzlatte eingeschraubt wird. Die hier angegebene Aufstellung hat gegenüber einer ähnlichen von Dr. Georg Breithaupt früher angegebenen[1]) den Vorteil, daß das hängende Signal im Steckhülsendreifuß um 180° umgesetzt werden kann und auf diese Weise sämtliche Zentrierungsfehler des Signals eliminiert werden[2]).

[1]) W. Breithaupt, Das Messen mit dem Theodolit in tonlägigen Schächten steil einfallenden Strecken, Bremsbergen usw. *Mitt. a. d. Markscheidewesen 1914, S. 150.*

[2]) Ein Fehler der Vertikalstellung des Signals ließe sich bei genaueren Messungen leicht dadurch ausschalten, daß man das Signal mit einer Wendelibelle versieht und diese während der Messung in beiden Lagen (vor und nach dem Umsetzen von 180°) zum Einspielen bringt.

Die Messung in beiden Fernrohr- und beiden Signallagen gibt durch Mittelung sofort die von allen Instrumenten- und Aufstellungsfehlern freien Horizontalwinkel an, während bei der Messung des Höhenunterschiedes dem Abstand der Spitze des hängenden Signals von der Achsenhöhe des Theodolits in einfacher Weise Rechnung getragen werden muß.

Das Gewicht des äußerst kräftig gebauten Theodolits mit Dreifuß beträgt 3,4 kg, ein Dreifuß allein wiegt 0,8 kg, das seitliche Fernrohr 0,3 kg, die Reiterlibelle 0,2 kg, ein Signal 0,8 kg, eine Latte 0,5 kg, ein Wandarm mit Stahlkonus 0,7 kg. Auf die Verwendung von Aluminium wurde wegen seiner leichten Angreifbarkeit durch Grubenwasser gänzlich verzichtet. Die Verpackung erfolgt in drei kleinen Kästchen derart, daß nach dem Öffnen der Theodolit und die Signale sofort zur Messung bereit herausgenommen werden können. Das 1. Kästchen enthält den Theodolit mit Zubehör, das 2. die Dreifüße, das 3. die Signale und Latten. Die Firma F.W. Breithaupt & Sohn ist weiterhin bemüht, das Instrument zu vervollkommnen und bei möglichster Standfestigkeit das Gewicht noch zu vermindern.

V. Genauigkeits-Untersuchungen der Winkelmessungen.

Zunächst wurde die Steilschachtausrüstung, wie alle Instrumente der Firma F. W. Breithaupt & Sohn, zur Feststellung etwa vorhandener Instrumentenfehler einer sorgfältigen Untersuchung auf dem Prüfstande unterzogen. Bei einer Drehung der Horizontalkreisbuchse zeigte die Reiterlibelle (Empfindlichkeit 26,4″ auf 2 mm) einen größten Ausschlag von nur 0,2 pars, so daß sich hieraus die Achsenneigung zu 2,64″ berechnet. Dieser Fehler liegt vollkommen innerhalb der Genauigkeitsgrenzen, die man bei Nachtragsmessungen selbst bei sehr steilen Visuren an das Vertikalachsensystem stellen muß[1]).

Die Kreise sind mittels einer besonderen Hilfseinrichtung sehr genau zentriert, so daß die Zentrierungs- und Teilungsfehler beträchtlich innerhalb der Ablesegenauigkeit der Schätzmikroskope liegen[2]). Obwohl jeder Kreis nur an einem Mikroskop abgelesen wird, sind daher aus dieser Konstruktionsanordnung keine nachteiligen Fehler für die Winkelmessung zu befürchten.

Zur Bestimmung des mittleren Zielfehlers des Hauptfernrohrs auf verschiedene, insbesondere sehr kurze Zielweiten und bei Verwendung verschiedener Objekte, wurde es herausgenommen und auf einem empfindlichen Libellenprüfer befestigt, an dessen vorzüglicher Meßschraube noch mit Sicherheit 0,1″ geschätzt werden könnten. Da nach einer früheren Untersuchung die Fehler der Feinmeßschraube und die mittleren Ablesefehler an ihr unter 0,05″ liegen, ergibt diese unmittelbare Feststellung des mittleren Ziel- und Einstellfehlers erheblich genauere Werte als die mittelbare Bestimmung aus Repetitionswinkelmessungen[3]). Aus je fünf Beobachtungsreihen zu je zehn Beobachtungen wurden bei trübem Wetter uud Aufwendung größerer Sorgfalt die in Spalte 4 der Tabelle 1 aufgeführten Werte erzielt. Diese verhältnismäßig wenigen Beobachtungen zeigen zur Genüge, daß der mittlere Zielfehler selbst bei der sehr

[1]) L. H. Cooke, *Methods of Measuring Horizontal Angles that involve Steep or Precipitous Sighting in their Measurement. Transact. of the Instit. of Mining and Metallurgy 1921—1922, p. 389.*

[2]) Vgl. z. B. Lüdemann, Versuche zur Feststellung der Größe und des Verlaufes des regelmäßigen Teiles des Schätzungsfehlers bei Strichmikroskopen. *Allgem. Verm. Nachr. 1922, S. 551.*

[3]) F. Klempau, Über die Beziehungen zwischen Winkel-, Nonien- und Zielgenauigkeit. *Allgem. Verm. Nachr. 1923, S. 306.*

Tabelle 1.

Nr.	Ziel	Entfernung in m	Mittlerer Einstellfehler Libellenprüfer ″	Tangentenschraube ″
1.	Schwarzweiße Feldergrenze	330	0,89	2,68
2.	Weiße Keilmarke auf schwarzem Grund	34	0,45	1,90
3.	„ „ „ „ „	3	1,26	2,42
4.	Selbstleuchtendes Spitzensignal	3	0,55	2,20
5.	„ „	1	0,79	2,50
6.	„ „	0,57	2,33	2,54

kurzen Zielweite von 0,57 m weit innerhalb der Genauigkeitsgrenze liegt, die man bei Nachtragsmessungen an die Winkelmessung stellt. Da bei vorstehender Untersuchungsreihe infolge der sauberen Einstellmöglichkeit am Libellenprüfer die mechanischen Einstellfehler verhältnismäßig klein bleiben, treten die durch die optischen Verhältnisse des Fernrohrs und des Auges hervorgerufenen verschiedenartigen reinen Zielfehler klar hervor. Bei der Einstellung des Fernrohrs mittels der Feinbewegungsschraube des Theodolits und Aufwendung geringerer Sorgfalt nehmen die durch die Unsicherheit der Hand bedingten mechanischen Zielfehler naturgemäß einen höheren Betrag an und lassen den reinen Zielfehler nicht mehr so deutlich hervortreten. Aus Beobachtungen am Theodolit selbst und Ablesen an der mit einer besonderen Hilfsvorrichtung versehenen Tangentenschraube ergaben sich bei mittlerer Sorgfalt die in Spalte 5 eingetragenen entsprechenden Werte.

Um einen evtl. Gang der inneren Schaltlinse festzustellen, wurde zunächst der Kollimationsfehler bei Einstellung auf unendlich genau beseitigt und versucht, bei verschiedenen Entfernungen mittels Durchschlagen des Fernrohrs den doppelten Kollimationsfehler zu ermitteln, jedoch lag dieser unterhalb der Schätzgenauigkeit des Mikroskops. Es ist also selbst bei sehr kurzen Zielweiten ein merkbarer Einfluß des Ganges der Focusierlinse auf die Winkelmessung nicht zu befürchten. Auch könnte ein solcher bei wichtigeren Arbeiten durch Messung in beiden Fernrohrlagen ausgeschaltet werden.

Es dürfte von allgemeinerem Interesse sein, zu erfahren, wie weit man bei markscheiderischen Vermessungen mit der Verwendung sehr kurzer Zielweiten gehen darf und welche Fehler dabei zu erwarten sind. Daß die Notwendigkeit, mitunter sehr kurze Polygonseiten einzuschalten, schon früher an manchen Markscheider herangetreten ist, beweisen die Stellen in den Lehrbüchern der Markscheidekunde, in denen für diesen Fall die Kollimatorstellung zweier Fernrohre empfohlen wird[1]). Diese

[1]) Uhlich, Lehrbuch der Markscheidekunde, Freiberg 1901, *S. 73*; Brathuhn, Lehrbuch der praktischen Markscheidekunst, IV. Auflage, Leipzig 1908, § 58, *S. 107*.

Die daselbst angegebenen Erklärungen und zeichnerischen Darstellungen entsprechen jedoch nicht den tatsächlichen Verhältnissen, denn 1. bildet im allgemeinen die Zielachse (Gerade durch vorderen Hauptpunkt des Objektivs und Fadenkreuzpunkt) mit der optischen Achse (Gerade durch vorderen Hauptpunkt und Brennpunkt) einen kleinen Winkel. 2. Selbst in dem Falle, daß die Zielachse mit der optischen Achse zusammenfällt und beide Fadenkreuzbilder genau miteinander zur Deckung gebracht sind, würden zwar beide Fernrohre dieselbe Richtung haben, jedoch muß diese durchaus nicht mit der Verbindungslinie der Theodolitzentren zusammenfallen. Die Abweichung der Richtung der Zielachsen von dieser Verbindungslinie kann bis zu 1^0 betragen.

Trotzdem ist das von Brathuhn angegebene Verfahren der Messung von Polygonwinkeln nicht schlecht; denn angenommen der auf Punkt 1 gemessene Winkel ist z. B. um $+\,{}^3/_4{}^0$ falsch

Methode verlangt jedoch die gleichzeitige Anwendung zweier Theodolite, die nicht immer vorhanden sind; außerdem schließen sich an solche kurzen Polygonseiten sehr häufig Steilvisuren an, bei denen ebenfalls Zwangszentrierung erforderlich ist, so daß es wünschenswert erscheint, wenn man durch alleinige Anwendung der gewöhnlichen Dreifußmethode auskommen könnte. Eine etwaige Exzentrizität der Spitzensignale muß durch Umsetzen derselben im Steckhülsendreifuß unschädlich gemacht werden können. Ist die Exzentrizität der justierbaren Spitzen nicht allzu groß (sie wird im Höchstfalle 0,5 mm betragen), so kann mit Sicherheit angenommen werden, daß nach dem Umsetzen die aus beiden Stellungen errechnete Mittelstellung linear nicht um mehr als 0,01 mm von der wahren Mitte abweicht. Bei einer Polygonseite von nur 0,57 m würde z. B. diesem Werte ein größter Winkelfehler von $\alpha = \varrho'' \cdot 0{,}01/570 = 3{,}6''$ entsprechen.

Um auch durch Messungsergebnisse diese Erwägung zu sichern, wurde ein Dreieck mit den außerordentlich kurzen Seiten von 0,599 m, 0,952 m und 0,892 m Länge nach der oben angegebenen Methode ausgemessen und nach viermaliger Repetition jedes Winkels (zur Verringerung der Ablesefehler) ein Winkelsummenabschlußfehler von nur $-8''$ gefunden. Die größte Differenz zweier einfacher Winkelmessungen in beiden Fernrohrlagen betrug $1'$, der Unterschied zweier einfacher Messungen vor und nach dem Umsetzen der Signale dagegen bis zu $4'$, ein Zeichen dafür, wie wichtig das Umsetzen der Signale ist. Dagegen ist ein Fehler der Horizontierung des Dreifußes bei Anwendung der Steckhülsenmethode vollständig ohne Einfluß, da beim Auswechseln des Signals gegen den Theodolit der Schnittpunkt der Horizontal- und Fernrohrachse selbsttätig (ohne nochmaliges Horizontieren) und genau an dieselbe Stelle zu liegen kommt, die vorher der Mittellage der Signalspitzen entsprach. Nur bei gleichzeitiger Steilvisur ist aus bekannten Gründen auf eine möglichst gute Horizontierung des Dreifußes zu achten, die dann zweckmäßig vor Beginn der Winkelmessung stattfindet und zwischendurch nicht geändert werden darf. Es ist selbstverständlich, daß das Auswechseln des Signals gegen den Theodolit und umgekehrt zur Vermeidung einer gewaltsamen Änderung der Aufstellung vorsichtig erfolgen muß und am besten wegen der geringen Entfernung vom Beobachter selbst ausgeführt wird. Bei obiger Versuchsmessung waren die Dreifüße auf federnden Brettern von 15 mm Stärke in normaler Weise befestigt. Aus dem vorhergehenden folgt, daß bei jeder anderen Aufstellungsart, bei der nach dem Austausch von Signal und Theodolit jeder Dreifuß von neuem horizontiert werden muß, keine Gewähr dafür besteht, daß nach dem Umsetzen die Mittellage der Zielvorrichtung genau dem Fernrohrachsenschnittpunkt entspricht.

Außer diesen Untersuchungen auf dem Prüfstand hat Verfasser mit der neuen Einrichtung im September 1924 unter äußerst ungünstigen Umständen auf der Braun-

---

dann ist die Winkelmessung auf Punkt 2 um genau denselben Betrag, aber mit entgegengesetztem Vorzeichen (z. B. $-{}^3/_4{}^0$) falsch, der Streichenunterschied wird also ganz richtig erhalten und nur eine kleine Parallelverschiebung (kleiner als der Objektivdurchmesser) tritt auf.

Nach einer persönlichen Mitteilung hat Herr Professor Wilski mit Rücksicht auf die oben erwähnten irreführenden Darstellungen schon in Freiberg im Markscheide-Institut eine Zeichnung anfertigen lassen und für die Studierenden ausgehängt, die den Sachverhalt richtig darstellt. Die gleiche Abbildung hat er auch 1916 bei seiner Übersiedlung nach Aachen im dortigen Institut zum Aushang gebracht. Auch Herr Professor Haußmann-Charlottenburg hat seit etwa 25 Jahren in seinen Vorlesungen diese Zusammenhänge richtiggestellt. Trotzdem dürfte dieser Hinweis in der Literatur weiteren Kreisen nicht unerwünscht sein.

kohlenzeche Glimmerode bei Hess.-Lichtenau einen vollständigen Rundzug mit 37 Polygonpunkten (6 Aufstellungen über Tage, 25 unter Tage und je 3 in den Steilschächten) gelegt. Der Horizontalwinkelabschlußfehler betrug dabei 3′ 58″, die Verbesserung pro Winkel also 6,5″. Dieser Fehler ist jedoch in erster Linie auf die unsichere Aufstellung im Schacht II und auf eine Drehung der Stative zurückzuführen, die unter Tage häufig in Schlamm und fließendem Wasser aufgestellt werden mußten. Bei den Messungen in der Grube erwies sich als äußerst vorteilhaft die Möglichkeit, mittels der schwenkbaren Okulare sämtliche Beobachtungen in beiden Zielrichtungen und beiden Fernrohrlagen ohne Wechsel des Standortes des Beobachters ausführen zu können. Anderenfalls wären besonders bei den Steilvisuren in Schacht II, wo das Instrument über dem Sumpf auf schwankenden Planken aufgestellt werden mußte und eine davon unabhängige Bohle als Beobachter-Bühne dienen mußte (eine Aufstellung auf Wandarmen oder Spreizen war infolge der örtlichen Verhältnisse nicht möglich) bedeutend größerere Fehler unvermeidlich gewesen. Sämtliche Winkelmessungen konnten auch in den Steilschächten (Höhenwinkel bis 56°) bequem mit dem zentrischen Fernrohr ausgeführt werden. Die erzielte Genauigkeit war (in Anbetracht der starken Verschiebungen des Hangenden wie des Liegenden) selbst für einen Hauptzug vollkommen ausreichend.

VI. Die optische Entfernungsmessung und ihre Genauigkeit.

Über die bei der mittelbaren Entfernungsmessung mit Hilfe der Tangentenschraube auftretenden Fehlerquellen hat bereits Prof. Vogler eingehende Untersuchungen angestellt, auf die in erster Linie verwiesen sei[1]. Mit Rücksicht auf die besonderen Verhältnisse, die jedoch bei Arbeiten unter Tage vorliegen und den Meßvorrichtungen eine gewisse Beschränkung auferlegen, sowie in Anbetracht der in der Grube erforderlichen Steilmessungen sei jedoch gestattet, zunächst die hauptsächlichsten Formeln in zweckentsprechender Form aufzuführen.

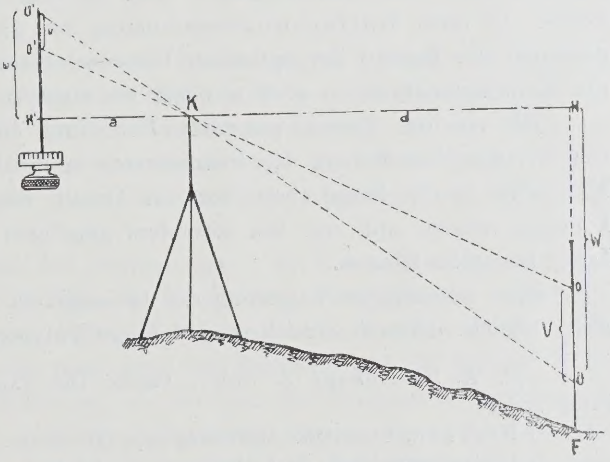


Fig. 7.

In Figur 7 sei K die Kippachse des Instrumentes, HK die Horizontale, FO die lotrechte Lattenskala und $H'O'$ die Achse der Tangentenschraube. Bei horizontaler Visur soll die Achse der Schraubenspindel senkrecht zu der durch K gehenden Gleitebene des Klemmarmes KH' stehen, der Klemmarm KH' darf jedoch mit der Horizontalen HK einen beliebigen Winkel (z. B. 90° wie beim Instrument) bilden. Bezeichnet d die Entfernung der Latte vom Instrument, l den Lattenabschnitt, a den Abstand des Angriffspunktes der Tangentenschaube von der Ho-

[1]) Vogler, Die Tangentenkippschraube. *Zeitschr. f. Verm. 1891, Heft 6, S. 145.*

rizontalachse, g die Ganghöhe der Schraube, n die Zahl der Umdrehungen, so ist bekanntlich[1])

$$d = \frac{l \cdot a}{n \cdot g}. \qquad 1)$$

Gewöhnlich wählt man $g : a = 1 : 100$; dann entspricht einer vollen Umdrehung der Schraube eine Neigung des Fernrohres von $1\,^0/_0$. Bei Anwendung der Methode von Hogrewe[2]) macht man den Lattenabschnitt l konstant (gekennzeichnet durch die zwei Keilmarken), so daß auch bei kurzen Entfernungen als Basis des distanzmessenden Dreiecks ebenfalls die ganze Lattenlänge ausgenutzt wird. Dies hat eine erhebliche Steigerung der Genauigkeit zur Folge, so daß die Methode von Hogrewe der Anwendung des Reichenbachschen Distanzmessers überlegen ist.

Um zu erfahren, wie sich ein Fehler Δl der Lattenablesung (Einstellfehler des Mittelfadens auf die Keilmarken, ausgedrückt in Lattenteilen) oder ein Fehler Δn der Ablesung an der Tangentenschraube auf die Entfernungsmessung auswirkt, bilden wir zunächst die Differenzenformeln:

$$\frac{\Delta d}{d} = \frac{+\Delta l}{l} \qquad 2)$$

$$\frac{\Delta d}{d} = \frac{-\Delta n}{n} \qquad 3)$$

$$\Delta d = -\Delta n \cdot \frac{g}{a} \cdot \frac{d^2}{l}. \qquad 4)$$

Bei konstanter Entfernung d müssen die Werte Δl und Δn bei gleicher Form der Zielmarken und bei genügend großer Anzahl von Beobachtungen für denselben Beobachter im Mittel gleich sein, wie groß auch immer der Lattenausschnitt l gewählt werde[3]). Aus den Gleichungen 2) und 3) folgt daher übereinstimmend, daß der Fehler Δd einer Entfernungsbestimmung bei gleicher Entfernung umgekehrt proportional der Basis l der optischen Distanzmessung ist[4]). Man muß also den Abstand der Keilstrichmarken so groß wie möglich machen.

Die von der Theorie geforderte Benutzung einer möglichst großen Basis verbietet sich bei der Verwendung des Instrumentes in beschränkten Grubenräumen von selbst. Man wird in der Regel (besonders im Abbau) mit einer Grundlinie von 50 cm auskommen müssen und nur bei besonders günstigen örtlichen Verhältnissen eine 1-m-Latte benutzen können.

Eine wesentliche Steigerung der Genauigkeit der optischen Längenmessung läßt sich vielmehr dadurch erreichen, daß lange Polygonseiten nach Möglichkeit vermieden

---

[1]) F. W. Breithaupt & Sohn, Cassel, Die Tangentenschraube und ihre Anwendung, Selbstverlag.

[2]) Hogrewe, Praktische Anweisung zum Nivellieren oder Wasserwägen. Hannover 1800.

[3]) Die umfangreichen Beobachtungen vou Lüdemann („Die mittelbare Messung von Entfernungen bei Nachtragungsarbeiten", *Mitt. a. d. Markscheidewesen 1922, Heft 2. Tafel 20. S. 27*) bestätigen diese Annahme vollständig.

[4]) Die Folgerungen von Lüdemann aus seinen Messungsergebnissen (ebendort S. 27), „daß es auf das Ergebnis vollständig ohne Einfluß sei, ob $l = 0{,}5$ oder 1,0 m gewählt wird", sind also unrichtig. Die aus den Messungsergebnissen abgeleiteten Zahlenwerte für den Entfernungsfehler gelten nur für die 1,0-m-Latte. Bei einer Latte mit der Basis von 0,5 m sind die entsprechenden Werte (in mm und in $^0/_{00}$ der Entfernung) doppelt so groß. Vergleicht man die so verbesserten Werte mit den entsprechenden von Lüdemann gefundenen mittleren Fehlern für die Messung mit dem Fadendistanzmesser, so ergibt sich für beide Arten der Distanzmessung bei einer Entfernung von 51 m nahezu derselbe Fehler der Längenbestimmung von $\pm$ 83 mm oder $1{,}63\,^0/_{00}$ der Entfernung (die Basis der Entfernungsmessung ist in diesem Falle gleich groß).

werden. Aus Gleichung 4) ist nämlich sofort ersichtlich, daß der mittlere Fehler einer Längenmessung mit dem Quadrat der Entfernung d wächst, da g, a, l konstante Größen sind und der Fehler Δn einer Schraubenablesung für alle in Betracht kommenden Entfernungen von 100 bis 3 m als konstant angesehen werden kann, wie aus den Messungsergebnissen des vorigen Abschnittes V hervorgeht. Bevorzugt man Polygonseiten von 20 bis 30 m Länge, so beträgt der Fehler ungefähr nur $^1/_4$ des Fehlers, der bei der Messung einer Seite von 50 m auftreten würde. Bei Verwendung einer Latte von 0,5 m Zielmarkenabstand beträgt nach Gleichung 1) die Multiplikationskonstante nur 50, man hat also die doppelte Genauigkeit als bei der Anwendung des Fadendistanzmessers.

Ein gutes Gelingen der optischen Distanzmessung mit der Tangentenschraube ist aber noch von der Erfüllung einiger weiterer Voraussetzungen abhängig. Zunächst muß das Instrument den vier von Vogler aufgestellten Bedingungen genügen[1]):

1. Kippachse und Schraubenachse müssen sich rechtwinklig in unveränderlichem Abstande kreuzen.

2. Der Stützpunkt der Schraube (die Schraubenspitze) soll auf einer Geraden gleiten.

3. Diese Gerade soll die Kippachse schneiden.

4. Bei wagerechter Visur muß der Stützpunkt der Schraube von der Kippachse den kürzesten Abstand haben.

Die ersten drei Bedingungen hängen allein von der Ausführung und Bauart des Instrumentes ab; bei der vorliegenden Konstruktion des Theodolits und der hohen Güte der feinmechanischen Arbeit ist ein die Messungsergebnisse merklich beeinflussender Fehler nicht zu befürchten, wie sich leicht dadurch zeigen läßt, daß man die bei der Herstellung zulässigen Toleranzen in die von Vogler entwickelten Fehlerformeln einsetzt.

Wichtiger ist die Voraussetzung 4, deren Innehaltung nicht nur von der Güte des Instrumentes, sondern in hervorragendem Maße auch von der Anordnung der Beobachtung abhängt. Hierzu kommt noch die weitere Bedingung, daß die Latte unveränderlich fest und lotrecht zur Horizontalen stehen muß. Es soll untersucht werden, wieweit sich bei Grubenvermessungen diese Fehlerquellen vermeiden bzw. unschädlich machen lassen.

Wir nehmen zunächst an, daß die Bedingungen 1 bis 3 streng erfüllt sind, daß ferner die Latte senkrecht steht, daß aber bei horizontaler Visierlinie die Schraubenachse keinen rechten Winkel mit der Gleitlinie bildet, sondern um den Winkel μ von der normalen Lage abweicht. Stellt man nun das Fernrohr auf die Marke U der Latte ein (Fig. 7), und ist $\sphericalangle HKU = \alpha_1$, so wird an der Tangentenschraube nicht der Wert $\operatorname{tg}\alpha_1$, sondern $\operatorname{tg}(\alpha_1 + \mu) - \operatorname{tg}\mu$ abgelesen; ebenso beim Anzielen der Marke O nicht der Wert $\operatorname{tg}\alpha_2$, sondern $\operatorname{tg}(\alpha_2 + \mu) - \operatorname{tg}\mu$. Statt der richtigen Verschiebung der Schraubenspitze $\operatorname{tg}\alpha_2 - \operatorname{tg}\alpha_1$ hat man also den fehlerhaften Wert

$$\operatorname{tg}(\alpha_2 + \mu) - \operatorname{tg}(\alpha_1 + \mu)$$

und hieraus den Fehler der Trommelablesung selbst

$$\Delta n = \frac{a}{g}\left[\operatorname{tg}(\alpha_2 + \mu) - \operatorname{tg}(\alpha_1 + \mu) - \operatorname{tg}\alpha_2 + \operatorname{tg}\alpha_1\right], \qquad 5)$$

$$\Delta n = \frac{a}{g}\left[(\operatorname{tg}^2\alpha_2 - \operatorname{tg}^2\alpha_1)\operatorname{tg}\mu + (\operatorname{tg}\alpha_2 - \operatorname{tg}\alpha_1)\operatorname{tg}^2\mu\right]. \qquad 6)$$

[1]) *a. a. O. S. 152.*

Berücksichtigt man ferner, daß die zur Messung dienende Zahl n der Trommelumdrehungen gleich der Differenz der Schraubenablesungen $n_2 - n_1$ oder hinreichend genau $n = \frac{g}{a}[\operatorname{tg}\alpha_2 - \operatorname{tg}\alpha_1]$ ist, so folgt aus Gleichung 3)

$$\frac{\Delta d}{d} = -(\operatorname{tg}\alpha_2 + \operatorname{tg}\alpha_1)\operatorname{tg}\mu + \operatorname{tg}^2\mu. \qquad 7)$$

Dieser Ausdruck zeigt, daß der Längenfehler Δd zunächst mit wachsendem Fehler μ der Ausgangsstellung ebenfalls rasch zunimmt, daß er aber besonders dann eine beträchtliche Größe annehmen kann, wenn $\operatorname{tg}\alpha_1$ und $\operatorname{tg}\alpha_2$ beide positiv oder beide negativ sind, d. h. wenn die Visur nach der Lattenmitte stark gegen die Horizontale geneigt ist.

Um diesen sehr schädlichen Fehler μ einer falschen Ausgangsstellung auszuschalten, hat Dr. ing. e. h. W. Breithaupt die doppelte Feinbewegung in vertikalem Sinne in die geodätische Praxis eingeführt[1]). Mit Rücksicht auf eine kompendiöse und leichte Ausführung des Instrumentes mußte hierauf leider verzichtet werden. Jedoch läßt sich der erwähnte Fehler vermeiden, wenn folgendes **Meßverfahren** eingehalten wird:

Die Länge der Tangentenschraube ist auf dem Prüfstand von F. W. Breithaupt & Sohn derartig abgestimmt, daß bei horizontaler Visur die Schraubenachse normal zur Gleitfläche gerichtet ist, sobald der Umdrehungszähler der Schraube auf 10 und der Index der Trommel auf 0 steht. Man bringt daher zuerst die Tangentenschraube in diese Normalstellung, löst dann den Klemmknopf, stellt das Fernrohr aus freier Hand möglichst gut horizontal und bringt nunmehr mittels einer Fußschraube die Fernrohrlibelle zum Einspielen.

Alsdann führt man mittels der Tangentenschraube den mittleren Zielfaden zuerst auf die untere, dann auf die obere Zielmarke an der Latte und bildet die Differenz der Ablesungen an der Schraube. Man erhält dann nach Formel 1), am besten mit Hilfe einer Tabelle, sofort die horizontale Entfernung der Latte vom Instrument.

Damit die Horizontalachse des Instrumentes bei der Messung nicht zu schief steht, wird man zweckmäßig bei der Aufstellung eine Fußschraube nach Möglichkeit in die Richtung der Visur stellen, jedoch braucht hierauf nicht allzu große Sorgfalt gelegt werden. Bildet nämlich die Horizontalachse den Winkel λ mit der Horizontalen, so ist dies gleichbedeutend mit einer Verkürzung der Basis der optischen Distanzmessung um

$$\Delta l = l(1 - \cos\lambda) = \frac{l \cdot \lambda^2}{2\varrho^2} = 0{,}000152 \cdot l \cdot \lambda^2$$

(λ in Graden), dem würde nach Gl. 2) ein Fehler der Distanzmessung

$$\frac{\Delta d}{d} = 0{,}000152\,\lambda^2$$

entsprechen; also bei $\lambda = 1^0$ ein Fehler von $0{,}15\,^0/_0$ der Entfernung (7,6 mm auf 50 m). Nun läßt sich bei einiger Geschicklichkeit ein Fernrohr nach der Libelle freihändig so sicher einrichten, daß kein Einstellfehler über 1^0 zu befürchten ist. Aus 20 Versuchseinstellungen, die ohne besondere Sorgfalt ausgeführt wurden, ergab sich ein mittlerer Einstellfehler von $\pm 16{,}3'$, die größte Abweichung war $34'$. Da ferner die

[1]) W. Breithaupt, Verbesserte Feinbewegung des Fernrohrs für Instrumente mit Tangentenschraube. *Diese Zeitschr.* **26.** *S. 306. 1906.*

Neigung der Horizontalachse (weil rechtwinklig zur Einstellrichtung) stets nur ein Bruchteil dieses Einstellfehlers betragen wird, so ist λ unschädlich für die Messung; die verloren gegangene Horizontierung des Instrumentes kann jedoch infolge der zweckmäßigen Dreifußanordnung in kürzester Zeit wiederhergestellt werden.

Es handelt sich jetzt noch darum, den Einfluß einer etwa vorhandenen Neigung ν der Ziellatte gegen die Vertikale festzustellen. Es bezeichnet in Fig. 8 K die Kippachse des Instrumentes, KH den Horizont (oder allgemeiner diejenige Zielung, welche der Nullstellung der Tangentenschraube entspricht, im folgenden Nullzielung genannt; diese Festsetzung ist später für die Erörterung der optischen Längenmessung in Steilschächten wichtig). Es sei ferner F der Drehpunkt der Latte, U die Lage der unteren Zielmarke bei vertikaler, U' die entsprechende Lage bei schiefer Lattenstellung, $FH = f$ der Abstand des Drehpunktes von der Nullzielung, $FU = e_1$ der Abstand der unteren Zielmarke vom Drehpunkt und $HK = d$ der Abstand der normalen Latte von der Kippachse. Setzt man dann noch $\sphericalangle HKF = \beta$, $\sphericalangle HKU = \alpha_1$, $\sphericalangle HKU' = \alpha_1 + \Delta\alpha_1$, so folgt aus dem Dreieck FKU' nach dem Sinussatz

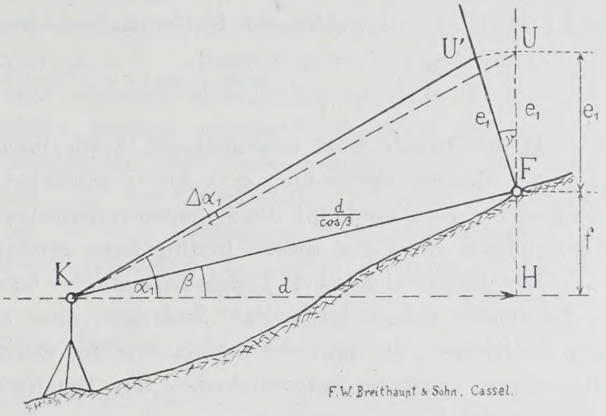


Fig. 8.

$$\frac{FU'}{FK} = \frac{\sin FKU'}{\sin FU'K},$$

$$\frac{e_1 \cos\beta}{d} = \frac{\sin(\alpha_1 + \Delta\alpha_1 - \beta)}{\cos[\nu - (\alpha_1 + \Delta\alpha_1)]}.$$

Hieraus findet man

$$\operatorname{tg}(\alpha_1 + \Delta\alpha_1) = \frac{d \sin\beta + e_1 \cos\beta \cos\nu}{d \cos\beta - e_1 \cos\beta \sin\nu}. \qquad 8)$$

Bezieht sich nun der Index 2 entsprechend auf die Zielung nach der oberen Zielmarke, so erhält man statt der richtigen Verschiebung der Schraubenspitze (bei normaler Latte) $\operatorname{tg}\alpha_2 - \operatorname{tg}\alpha_1$ nunmehr infolge der schiefen Lattenstellung den fehlerhaften Wert

$$\operatorname{tg}(\alpha_2 + \Delta\alpha_2) - \operatorname{tg}(\alpha_1 + \Delta\alpha_1)$$
$$= \frac{\operatorname{tg}\beta + \frac{e_2}{d}\cos\nu}{1 - \frac{e_2}{d}\sin\nu} - \frac{\operatorname{tg}\beta + \frac{e_1}{d}\cos\nu}{1 - \frac{e_1}{d}\sin\nu} = \frac{\frac{e_2 - e_1}{d}(\cos\nu + \operatorname{tg}\beta\sin\nu)}{1 - \frac{e_1 + e_2}{d}\sin\nu + \frac{e_1 \cdot e_2}{d^2}\sin^2\nu},$$

oder unter Vernachlässigung von Gliedern höherer Ordnung

$$\operatorname{tg}(\alpha_2 + \Delta\alpha_2) - \operatorname{tg}(\alpha_1 + \Delta\alpha_1)$$
$$= \frac{e_2 - e_1}{d}\left(1 - \frac{1}{2}\sin^2\nu + \operatorname{tg}\beta\sin\nu\right) \cdot \left(1 + \frac{e_1 + e_2}{d}\sin\nu\right). \qquad 9)$$

Berücksichtigt man, daß

$$\frac{e_2 - e_1}{d} = \operatorname{tg}\alpha_2 - \operatorname{tg}\alpha_1 = n\frac{g}{a} \quad \text{und} \quad \operatorname{tg}\beta = \frac{f}{d} \qquad 10)$$

ist, so ergibt sich nach Gl. 5) als Fehler der Trommelablesung:

$$\varDelta n = \frac{a}{g}(\operatorname{tg}\alpha_2 - \operatorname{tg}\alpha_1)\left(-\frac{1}{2}\sin^2\nu + \frac{e_1 + e_2 + f}{d}\sin\nu\right) \qquad 11)$$

und nach Gl. 3) als Fehler der Entfernungsmessung

$$\frac{\varDelta d}{d} = +\frac{1}{2}\sin^2\nu - \frac{e_1 + e_2 + f}{d}\sin\nu. \qquad 12)$$

Dieser Fehler wird unbedeutend, wenn man dafür Sorge trägt, daß außer ν auch die algebraische Summe $e_1 + e_2 + f$ möglichst klein wird. Es ist zu untersuchen, wie weit mit Rücksicht auf die Messungsverhältnisse in der Grube und eine geeignete Konstruktion der Latte diesen Bedingungen genügt werden kann.

Der Meßbereich einer Tangentenschraube beträgt im allgemeinen $\pm 10\,^0/_0$. Da in der Grube nahezu horizontale Zielungen zwar am häufigsten sind, aber auch bei den Steilvisuren die optische Längenmessung wünschenswert erschien (wegen der im allgemeinen größeren Schwierigkeiten der Bandmessung), wurde eine doppelte Verwendung der Latte vorgesehen.

Für die Entfernungsmessung in söhligen Strecken schien es ratsam, die vertikale Aufstellung der Latte im Breithauptschen Steckhülsendreifuß beizubehalten. Hier ist erstens die Unveränderlichkeit der Lattenstellung und zweitens mit Hilfe von Libellen die selbsttätige Senkrechtstellung auf $\nu = 1'$ bis $2'$ genau gewährleistet. Der Drehpunkt der Latte kann hinreichend genau in der Höhe der Spitzen der Dreifußstellschrauben liegend angenommen werden. Für e_1 und e_2 sind bei Entfernungen über 10 m die Werte 0,10 und 0,6 m als gegeben anzusehen (für Entfernungen unter 10 m — Basis 20 cm — sind $e_1 = 0{,}1$ und $e_2 = 0{,}3$ m), so daß $\frac{e_1 + e_2}{d}$ im allgemeinen nicht größer als $\frac{0{,}7}{10} = 0{,}07$ werden kann, während $\frac{f}{d} = \operatorname{tg}\beta$ zwischen $+0{,}1$ und $-0{,}1$ liegt.

Benutzt man nach der zuerst von den Amerikanern angewandten Methode[1]) zur Erweiterung des Anwendungsbereiches der Schraube gleichzeitig den Höhenkreis, so wächst $f:d$ derartig, daß über 45^0 Neigung hinaus der Fehler der horizontalen Längenmessung und also auch der Höhe bereits $0{,}5\,^0/_{00}$ übersteigt. Außerdem treten wegen der schrägen Visur auch leicht systematische Zielfehler infolge Parallaxe auf.

Bei größeren Neigungswinkeln ist es daher ratsam, die schräge Entfernung zu messen und hieraus die horizontale Entfernung und den Höhenunterschied zu berechnen; die Formel 12) gilt dann auch für diesen Fall, sobald man nur den Abstand f des Drehpunktes F nicht von der Horizontalen, sondern von der Nullzielung aus rechnet. Die Latte wird in diesem Falle mit einem Drehzapfen an dem seitlichen Ansatz 22 des Signals (Fig. 4) befestigt. Bei vorliegender Konstruktion sind die Konstanten e_1, e_2, f derartig gewählt, daß $e_1 + e_2 + f = +0{,}18$ wird, also ziemlich klein, jedoch war es leider mit Rücksicht auf die Gleichgewichtsverhältnisse der Latte nicht möglich, diesen Ausdruck ganz zum Verschwinden zu bringen[2]).

[1]) Vgl. Vogler, Tangentenkippschraube. *Zeitschr. f. Verm. 1891, S. 147.*

[2]) Ein vollkommenes Verschwinden des zweiten Fehlergliedes in Gl. 12) ließe sich erreichen,

Um die Latte genügend genau senkrecht zur Ziellinie zu stellen, ist ein Diopter vorgesehen, das etwas außerhalb der Drehachse angebracht ist, um bei Steilzielungen bequem am Dreifuß, Stativ oder Wandarm vorbeizielen zu können; zugleich wurde dadurch eine Verringerung der algebraischen Summe $e_1 + e_2 + f$ erzielt. Um zu erfahren, mit welcher Genauigkeit ein ungeübter Meßgehilfe bei schlechter Beleuchtung und unbequemer Körperhaltung die Latte senkrecht zur Zielrichtung des Theodolits einstellen kann, wurde an der Latte ein Spiegel angebracht, in dem mittels eines Theodoliten das Bild einer Millimeterskala beobachtet wurde, derart, daß 1 mm Bildverschiebung einer Drehung der Latte um 0,67′ entsprach. Drei Versuchsreihen mit verschiedenen Beobachtern, die bei sehr schlechter Beleuchtung mit Hilfe des Diopters die Achsenhöhe des Theodolits einstellten, ergaben mittlere Einstellfehler von ± 15,4′ ± 13,4′ und ± 5,6′; die größten Einstellfehler jeder Reihe betrugen 25,4′, 25,4′ und 12,7′. Man kann demnach annehmen, daß der Einstellfehler $^1/_2{}^0$ nicht übersteigen, also $\sin \nu < 0{,}01$ sein wird, und hat bei dem ungünstigen Fall einer kurzen Entfernung von nur 10 m infolge falscher Lattenstellung keinen größeren Fehler zu erwarten als

$$\frac{\Delta d}{d} = -0{,}00005 \pm 0{,}00018 \quad \text{oder} \quad 0{,}23\,^0/_{00}\,.$$

Bei Entfernungen wesentlich unter 10 m würden mehr als 5 Trommelumdrehungen erforderlich sein, so daß es sich empfiehlt, eine verkürzte Basis von nur 200 mm Markenabstand zu benutzen; es ist dann $\frac{e_1 + e_2 + f}{d} = -\frac{0{,}01}{d}$, also selbst bei $d = 2$ m noch verschwindend klein, sobald der Latteneinrichter in diesem Falle nicht die Horizontalachse des Theodoliten selbst, sondern eine der Höherverlegung des Diopters entsprechende Marke über dem Fernrohr anzielt. Als solche kann mit hinreichender Genauigkeit der Rand der über das Fernrohr gehaltenen Hand benutzt werden. Es ergibt sich demnach für die optische Entfernungsmessung in Steilschächten folgendes **Meßverfahren.**

Man bringt zunächst die Tangentenschraube in die Normalstellung (Umdrehungszähler auf 10, Index der Trommel auf Null), löst den Klemmknopf und richtet, durch das Fernrohr blickend, freihändig den Mittelfaden auf das Diopter der Latte. Nach dem Klemmen stellt man, wenn nötig, einen größeren Fehler der freihändigen Einstellung mit den Dreifußstellschrauben ab.

Alsdann führt man mittels der Tangentenschraube den mittleren Zielfaden zuerst auf die untere, dann auf die obere Zielmarke an der Latte und bildet die Differenz der Ablesungen an der Schraube. Aus Formel 1) ergibt sich, am besten mit Hilfe einer Tabelle, die schräge Entfernung zwischen Theodolitachse und Drehpunkt der Latte. Ist p der Vertikalabstand des Lattendrehpunkts von der Signalspitze und α der Höhenwinkel der Zielung, so ist der kleine Betrag $p \sin \alpha$ zu addieren, wenn der Theodolit unten steht, andernfalls zu subtrahieren. Man entnimmt ihn zweckmäßig einer kleinen Tabelle.

Da es nicht in jedem Falle gelingt, das Multiplikationsverhältnis $a : g$ absolut genau $= 100$ (oder 200) zu machen, so ist es ratsam, diese Konstante aus sorgfältigen

wenn man die Latte horizontal und die Marken symmetrisch zur Vertikalachse anordnet. Es müßte in diesem Falle die Feinbewegungsschraube der Horizontalkreisalhidade als Tangentenschraube ausgebildet werden. Jedoch würde dann bei den weitaus am zahlreichsten vorkommenden horizontalen Visuren die selbsttätige Vertikalstellung der Latte fortfallen müssen und bei Armaufstellung die symmetrische Anordnung der Latte sich schwerlich durchführen lassen.

Versuchsmessungen zu bestimmen und danach die Hilfstabelle zu berechnen. Zur Bestimmung der Konstanten bei dem vorliegenden Instrument und gleichzeitigen Prüfung der Methode wurden 3 Versuchsreihen zu je 20 Beobachtungen angestellt, aus denen sich die Werte 99,550 ± 0,0146, 99,534 ± 0,0211 und 99,551 ± 0,0177 ergaben.

Die mittleren Fehler einer Entfernungsbestimmung in mm und $^0/_{00}$ sowie die aus den Messungsergebnissen berechneten mittleren Fehler einer Einstellung und Ablesung an der Tangentenschraube sind aus Tabelle 2 ersichtlich. Die letzteren Werte

Tabelle 2.

Reihe	d	Mittlerer Fehler einer Entfernungsbestimmung in				Mittlerer Einstell- und Ablesefehler in	
	in m	partes	$''$	mm	$^0/_{00}$	partes	$''$
1.	14,597	0,160	3,20	7	0,47	0,113	2,26
2.	5,964	0,224	4,48	4	0,67	0,158	3,16
3.	11,848	0,210	4,20	6	0,50	0,149	2,98

sind nur wenig größer als die entsprechenden in Tabelle 1. Die Reihen 1 und 2 wurden bei vertikaler Lattenstellung (Basis 0,5 m bzw. 0,2 m) ausgeführt, Reihe 3 bei geneigter Zielung und Einstellung der Latte durch einen ungeübten Gehilfen.

VII. Zusammenfassung.

Der oben beschriebene Steilschachttheodolit dürfte in allen den Fällen, in denen nicht ein Höchstmaß von Genauigkeit erstrebt wird, wohl aber sehr schwierige örtliche Verhältnisse vorliegen und großer Wert auf möglichst beschleunigten Arbeitsgang gelegt wird, besonders gute Dienste leisten.

Die Zeit für die Aufstellung, Horizontierung und Auswechslung des Theodolits und der Signale ist auf ein geringes Maß herabgesetzt. Trotzdem ist bei äußerst kurzen Polygonseiten und Steilvisuren eine sehr scharfe Zwangszentrierung vorhanden, so daß keine Bedenken bestehen, auch Seiten bis zu 0,5 m zuzulassen. Sämtliche Steilvisuren nach oben und solche bis 70° abwärts können mit dem zentrischen Hauptfernrohr ausgeführt werden. In beengten Räumen und bei schwankender Aufstellung können infolge des sehr kurzen Fernrohrs und des gebrochenen Okulars die Einstellungen sämtlicher Ziele und die gleichzeitige Ablesung beider Kreise ohne Standwechsel des Beobachters erfolgen. Hierdurch wird gleichzeitig eine Steigerung der Genauigkeit und eine Beschleunigung der Messung erzielt. Die gemeinsame Ablesung beider Kreise ist ebenfalls von Vorteil für tachymetrische Aufnahmen über Tage[1]). Für den allerdings seltener vorkommenden Anschluß an Hauptzüge in sehr hohen Strecken gestattet dasselbe Fernrohr eine genaue Zentrierung durch optische Ablotung. Die Entfernungsmessung kann mittels Bandmaßes oder optisch (Fadenentfernungsmesser oder Tangentenschraube) erfolgen, insbesondere auch in Steilschächten, in denen die Bandmessung oft mit großer Lebensgefahr verbunden ist. Das Meßverfahren und die Fehlertheorie ist eingehend dargelegt.

Das Instrument dürfte nicht nur für eigentliche Nachtragungsmessungen, sondern auch auf Gruben von geringerer Ausdehnung oder mit stark veränderlichen Lagerungsverhältnissen sogar für Hauptzüge in Frage kommen, wie die Messungen auf Zeche Glimmerode bewiesen haben.

[1]) Schermerhorn, Vergleichung des neuen Zeiss-Theodolites mit heutigen Konstruktionen. *Diese Zeitschr.* **45.** *S. 33. 1925.*

Die Tätigkeit der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt im Jahre 1924[1]).

Allgemeines.

Der Präsident, Geheimer Regierungsrat Prof. Dr. Nernst, hat auf seinen Antrag am 30. April 1924 die nachgesuchte Entlassung aus dem Reichsdienst bewilligt erhalten, um einer Berufung als Direktor des Physikalischen Instituts der Universität Berlin Folge zu leisten.

Herr Präsident Nernst hat es mit hervorragendem Geschick verstanden, der Reichsanstalt unter den für Kulturanstalten besonders schwierigen Verhältnissen der Inflationszeit erfolgreiche Weiterarbeit zu ermöglichen.

An seine Stelle ist am 1. November 1924 der Direktor des Physikalischen Instituts der Universität Tübingen, Prof. Dr. Paschen, getreten.

In der Zwischenzeit wurden die Präsidentengeschäfte von dem Direktor Geheimen Regierungsrat Prof. Dr. Holborn wahrgenommen.

Abteilung I.

Unterabteilung Ia.

Abschluß der Arbeiten zur Eichgebührenordnung für das Deutsche Reich, die am 16. Juni 1924 in Kraft getreten ist (Reichsgesetzbl. 1924, I, Nr. 40, S. 607). *1. Eichgebührenordnung*[2]).

Der Entwurf einer Abänderung und Ergänzung der Verordnung über die Verkehrsfehlergrenzen der Meßgeräte vom 18. Dezember 1911 bezüglich der Wagen, der Herbstgefäße und der Milchmaße mit Abstichstab ist an zuständiger Stelle vorgelegt. Nach dem Inkrafttreten der Abänderungen wird die ganze Verordnung in der neuen Fassung in den Mitteilungen der Abteilung I abgedruckt werden. *2. Verkehrsfehlergrenzen*[2]).

Es handelt sich um die Verlängerung der zweijährigen Fristen für die Nacheichung mehrerer Arten von Meßgeräten auf drei Jahre. Der von der Abt. I ausgearbeitete und begründete Entwurf einer entsprechenden Verordnung ist vom Reichswirtschaftsministerium den Regierungen der Länder vorgelegt und von diesen begutachtet worden. Einen Bericht über diese Gutachten hat die Abt. I erstattet. *3. Nacheichung*[2]).

Die Vollversammlung der Abt. I hat zu § 14 der Maß- und Gewichtsordnung einer Ergänzung zugestimmt, wonach die Abt. I die Befugnis erhalten soll, für Meßwerkzeuge und für Maße, die mit Meßvorrichtungen zusammengesetzter Art verbunden sind, außer den nach § 14 zulässigen Maßabstufungen im Falle eines dringenden Verkehrsbedürfnisses auch andere Größenstufen zur Eichung zuzulassen. Ein entsprechender Antrag bei der zuständigen Stelle ist vorbereitet. *4. Maß- und Gewichtsordnung*[2]).

Unterabteilung Ib.

Die Frage der allgemeinen Einführung der Bezugstemperatur 20° in die Eichordnung ist in Angriff genommen. Es bedarf für die einzelnen Gattungen von Meßgeräten der Feststellung, welche Folgen für die Maße und Meßwerkzeuge des Verkehrs und für die Eichnormale der Übergang von der Bezugstemperatur 0° auf die neue Bezugstemperatur 20° hat und welche Änderungen der Prüfungsvorschriften sich daraus ergeben. *5. Übergang zur Bezugstemperatur 20° C im Eichwesen*[3]).

Die Eichstatistik für die Jahre 1922 und 1923 steht vor dem Abschluß, so daß mit ihrer demnächstigen Veröffentlichung in den Mitteilungen zu rechnen ist. Die summarische Bearbeitung des älteren statistischen Materials für den Zeitraum 1912 bis 1921 konnte noch nicht in Angriff genommen werden. *6. Statistik der Eichungen und Prüfungen*[4]).

Die Gebührenordnung für die Abt. I ist nachgeprüft und zusammenfassend im Deutschen Reichsanzeiger Nr. 201 vom 26. August 1924 veröffentlicht worden. Ein Sonderabdruck ist für 0,30 GM. durch die Abteilung zu beziehen[5]). *7. Prüfungs- und Konstruktionsgebühren der Abteilung*[4]).

---

[1]) Auszug aus dem an das Kuratorium der Reichsanstalt im März 1924 erstatteten Bericht.
[2]) Meyer, Drewitz, Blum. [3]) Stadthagen. [4]) Stadthagen, Koch, Brückner.
[5]) S. a. *diese Zeitschr.* ***45.*** *S. 55. 1925.*

Außerdem ist die Bearbeitung[1]) der nachstehend angeführten Gesetzes- bzw. Verordnungsentwürfe im Sinne der Beschlüsse der Vollversammlung gefördert worden:

Eichpflicht der Fässer für Trinkbranntwein,

Obligatorische Raumgehaltsbezeichnung von Flaschen,

Durchführung des metrtschen Systems bei den in der Spiegelglasindustrie gebräuchlichen Maßen.

Laboratorium 1c.

8. Prüftätigkeit[2]). Es wurden geprüft und beglaubigt:

550 rechteckige Parallelendmaße ersten Ranges,
7 Endmaße zwischen 500 und 1000 mm Länge,
10 zylindrische Endmaße,
5 Paar Endmaße mit schneidenförmigen Enden,
19 Kugelendmaße,
10 Endmaße anderer Art,
4 Dickenmessungen,
19 Strichmaßstäbe mit Einteilung,
1 Skale,
3 Bandmaße mit Einteilung,
4 Meßkeile,
5 Ohmröhren,
17 Ausdehnungsbestimmungen,
32 Meßgeräte verschiedener Art für das Reichsschiffsvermessungsamt,
29 Meßgeräte verschiedener Art für die Zollverwaltung,

Zus. 715 Gegenstände.

9. Normale[3]) [4]) [5]). Die Prototypkopie J_7 (Strichmeterstab aus stabilem Nickelstahl mit der Ausdehnung $7{,}186 \cdot 10^{-6}$) ist von neuem an das deutsche Prototyp angeschlossen worden. Die Veränderung des Maßstabes beträgt weniger als 0,1 μ und liegt innerhalb der Grenzen der Beobachtungsgenauigkeit. Das Material erweist sich als hervorragend konstant.

Der neu beschaffte Endmaßsatz ist zum größten Teil bestimmt worden, die Justierfehler bleiben unter 0,2 μ, die Endflächen sind gut.

Eine Neubestimmung des ältesten Endmaßsatzes des Laboratoriums 1c zeigt nur äußerst geringe Veränderungen im Betrage von wenigen Hundertstel μ in einigen Jahren.

10. Veränderlichkeit geprüfter Endmaße[4]). Durch wiederholte Prüfungen von Endmaßen wurden einige Erfahrungen über die Veränderlichkeit gewonnen. Demnach sind die Veränderungen außerordentlich verschieden, selbst bei Maßen aus demselben Material und bestehen sowohl in Verkürzungen als Verlängerungen. Insbesondere veränderlich sind die während des Krieges erzeugten Maße jeglicher Herkunft. Die Wirkung des Verschleißes ist dagegen sehr gering zu schätzen.

11. Anschluß langer Endmaße[3]). Die bisher im Verkehr seltenen Endmaße von über 500 mm Länge werden in letzter Zeit in steigendem Maße und in guter Qualität hergestellt und gebraucht. Es war daher erforderlich, diese Längen in Endmaß grundsätzlich genauer festzulegen. Nach den Bestimmungen des Normenausschusses ist die Endmaßlänge als Abstand zweier Flächen definiert, die Meßrichtung muß daher senkrecht zu den Meßflächen stehen. Für die Festlegung dieser Richtung wurden zwei besondere Einrichtungen entworfen und hergestellt. Die Bestimmung der Längen selbst geschah durch Anschluß an Strichmaßnormale.

Die Ergebnisse der Beobachtungen, die mit Hilfe dieser Einrichtungen auf eine Meßrichtung senkrecht zu den Meßflächen reduziert wurden, sind so gut, wie man sie überhaupt mit Strichmaßen erreichen kann.

---

[1]) Stadthagen.
[2]) Kösters, Langbein, Thomas, Kreuter, Kornatz, Lampe, Hoffmann.
[3]) Kösters. [4]) Kornatz, Lampe. [5]) Hoffmann.

Außer der Gesamtlänge der Endmaße wurden auch die Ausdehnungskoeffizienten gemessen, ihre Werte schwankten zwischen $10{,}6 \cdot 10^{-6}$ und $11{,}0 \cdot 10^{-6}$ für 1° und 20° mittlerer Temperatur. Die Maße waren nur an den Enden gehärtet.

12. Neuer Typus des Interferenzkomparators[1].

Für die Bestimmung von Endmaßen mit Lichtinterferenz, und zwar für unmittelbaren Anschluß an Lichtwellenlängen, als auch für relative Vergleichung nach der Farbenmischmethode und mit Kontakt, ist ein neuer Typus des Interferenzkomparators entworfen worden, den die Firma Zeiss ausgeführt hat (s. Fig. 1). Die Neuerung besteht zunächst darin, daß an Stelle der bisherigen reellen eine virtuelle Referenzebene benutzt wird, die durch einen ebenen Spiegel nach Art der Michelsonschen Anordnung in die Mitte zwischen den Endflächen des Endmaßes verlegt wird. Hierdurch wird erreicht, daß der benutzte Gangunterschied nur gleich der Endmaßlänge zu sein braucht, so daß gegenüber dem bisherigen Apparat die doppelte Nutzlänge bei gleicher Schärfe der Linien erzielt wird. Allerdings werden dadurch erhöhte Anforderungen an die Güte der Flächen gestellt, auch fällt die Vielfachreflexion weg.

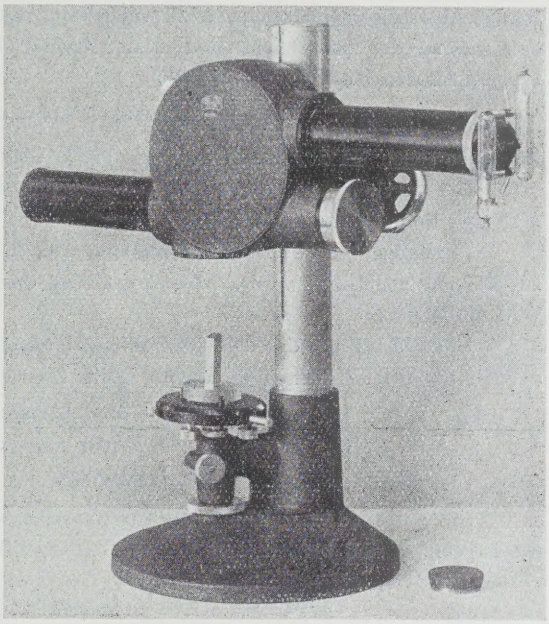


Fig. 1.

Die Benutzung des Apparats mit gemischtem Licht für relative Messungen wird dadurch erzielt, daß der Spalt um 90° gedreht werden kann, wodurch die einzelnen Linien übereinanderfallen, so daß die Mitte des Spektrums Licht aus dem ganzen sichtbaren Spektrum enthält. Zur Ablesung der Streifenzahl in einfarbigem Licht wird der Spalt zurückgedreht.

Außerdem erhält der Apparat noch eine Zusatzeinrichtung, die gestattet, Endmaße durch Kontakt zu bestimmen; die Stellung des Kontaktes wird in Interferenzstreifen abgelesen. Das zu bestimmende Endmaß (Fig. 1) steht frei auf der Grundplatte und kann nach Bedarf in eine Temperierungseinrichtung eingebaut werden. Das Instrument ist zur Benutzung durch die Industrie bestimmt, die dadurch in die Lage versetzt werden soll, ihre Urmaße selbst an Wellenlängen anschließen und deren feinste Veränderungen verfolgen zu können.

13. Ausdehnungsbestimmungen[1][2][4].

Für Bandmaße wird neuerdings zur Vermessung in Salzbergwerken u. dgl., in denen gewöhnliche Stahlbandmaße durch Rosten schnell zerstört werden, nicht rostender Stahl von Krupp verwandt. Die Ausdehnung der ersten Proben erwies sich als sehr hoch ($18{,}0 \cdot 10^{-6}$). Eine zweite von der Firma hergestellte Legierung zeigte eine Ausdehnung von $10{,}6 \cdot 10^{-6}$ für 1°. Über die metronomischen Eigenschaften des letzteren nicht rostenden Stahles liegen noch keine ausreichenden Erfahrungen vor.

Die Bestimmung herausgegriffener Endmaße wurde fortgesetzt. Die Ausdehnungskoeffizienten lagen zum größten Teil über $12 \cdot 10^{-6}$.

14. Normungsarbeiten[1][2][3].

Der Ausschuß für Meßwesen[5]) hat am 16. Dezember 1924 eine Vollsitzung abgehalten, die über die inzwischen eingegangenen Einwände zu den vorliegenden Normalblattentwürfen für Parallelendmaße, zylindrische Endmaße, Strichmaße, Schraubenmikrometer Stellung genommen hat. Es wurde beschlossen, im Gegensatz zu dem Entwurf für zylindrische Endmaße dieselbe Längendefinition wie für rechteckige Parallelendmaße vorzuschreiben. Demnach ist auch bei zylindrischen Endmaßen die Länge als Abstand der Endflächen, nicht als Entfernung der Mitten der Endflächen

[1]) Kösters. [2]) Kornatz, Lampe. [3]) Langbein. [4]) Hoffmann. [5]) Obmann: Kösters.

festgelegt. Damit ist das System der Parallelendmaße jeder Art einheitlich geworden. Eine Normung der äußeren Form der Endmaße wurde nicht für zweckmäßig gehalten und abgelehnt. Im übrigen wurden nur redaktionelle Änderungen vorgenommen; es unterliegt jedoch keinem Zweifel, daß die in dem Entwurf niedergelegten Fehlergrenzen für Endmaße in Anbetracht der inzwischen gesteigerten Herstellungsgenauigkeit verengert werden müssen. Verhandlungen mit der Industrie sind darüber bereits im Gange.

15. Umstellung der Schrifthöhennormale auf eine Ausgangstemperatur von 20° [1]).

Nach längeren Verhandlungen mit dem Verein deutscher Schriftgießereien sind nunmehr auch die bisher auf 16,25° bezogenen Schrifthöhennormale auf die bei Dinorm 102 vorgeschriebene Bezugstemperatur von 20° umgestellt werden. Die Regelung ist so getroffen worden, daß sich an der tatsächlichen Länge der bisherigen Normale nichts ändert. Die Definition der typographischen Maße lautet nunmehr:

2660 typographischePunkte = 1000,333 mm.

Die Maße sollen bei 20° ihrem Sollwerte gleich sein.

Die Regelung hat den Vorzug, daß man die Schrifthöhennormale nunmehr ohne weiteres aus normalen Endmaßen zusammensetzen kann.

16. Zulassung von Längenmaßen, die auf 20° berichtigt sind, zur Eichung [1]).

Durch Beschluß der Vollversammlung vom 21. Mai 1924 sind auf 20° bezogene Längenmaße zur Eichung zugelassen worden. Die Ausrüstung der Eichverwaltung mit entsprechenden Normalen wird vorbereitet.

Eichpraxis [2]).

Die Bearbeitung der laufenden Entscheidungen und Anfragen aus der Eichpraxis werden an anderer Stelle im einzelnen behandelt. Zum Zwecke der Zulassung der Eichung wurden geprüft:

1 Ledermeßmaschine,
3 Typen von Planimetern,
1 Meßrolle.

Die Neu- und Nacheichung der Turnerschen Nadelrad-Ledermeßmaschine wurde nachgeprüft, die Ergebnisse sind befriedigend.

Laboratorium Id (Feinmechanik und Akustik) [3]).

17. Prüfungsarbeiten.

Es gingen im Berichtsjahr 67 Prüfungsanträge ein, gegen 65 im Vorjahre. Die Prüfungen erstreckten sich u. a. auf

86	(71)	Leitspindeln,	3	(1)	Mikrometer,
93	(98)	Normalgewinde,	2	(0)	Schiebelehren,
15	(15)	Gewindebohrer,	2	(0)	Winkel,
15	(0)	Kaliberdorne,	1	(0)	Winkelmesser,
20	(0)	Kegellehren,	1	(0)	Meßscheibe,
11	(10)	Sphärometerringe,	1	(0)	Gyrometer,
2	(0)	Rachenlehren,	49	(77)	Stimmgabeln.

Für den eigenen Bedarf der Reichsanstalt waren eine ganze Reihe Messungen auszuführen, u. a. Längenbestimmungen an vier gläsernen Ohmrohren, sowie aushilfsweise die Prüfung von 20 zylindrischen Endmaßen bis zu 500 mm Länge.

18. Gewindeprüfungen.

Das in der Reichsanstalt gebaute Flankenmeßgerät hat bei den Gewindeprüfungen ausgedehnte Verwendung gefunden und ist inzwischen veröffentlicht worden (s. Anhang 1, Nr. 7).

Durch gütige Vermittlung der Firma Schuchardt & Schütte in Berlin wurde dem Laboratorium von Carl Zeiss dankenswerterweise ein großer Gewindekomparator Zeissischer Bauart auf einige Zeit leihweise überlassen. Es wurde dadurch ermöglicht, auf beiden Apparaten einige Vergleichsmessungen von Flankendurchmessern vorzunehmen. Die Ergebnisse stimmten innerhalb der von der Reichsanstalt für solche Messungen gegebenen Unsicherheit von ± 0,007 mm überein, sofern die Flankenleitlinie des Gewindes keine größeren Abweichungen von der Geraden zeigte. Gegebenenfalls ist beim Vorhandensein solcher Abweichungen bei den Messungen zu berücksichtigen,

---

[1]) Kösters. [2]) Langbein. [3]) Göpel, Lanzrath, Block, Werner, Conrat.

daß der Zeiss-Komparator mit ausgedehnten Meßkanten arbeitet, während die Schneiden des Flankenmeßgerätes der Reichsanstalt fast punktförmig berühren.

Der Zeiss-Komparator mußte leider bald wieder zurückgegeben werden, wurde jedoch durch einen solchen anderer Bauart ersetzt, mit dem die Messungen demnächst fortgesetzt werden sollen.

Außer den genannten Instrumenten stellte Carl Zeiss auch noch ein großes Werkstattmikroskop sowie je ein horizontales und ein vertikales Optimeter leihweise zur Verfügung. Die Apparate haben sich bei verschiedenen Prüfungen bestens bewährt. Ganz besonders vielseitig verwendbar zeigte sich des Werkstattmikroskop.

19. Prüfung von Rachenlehren.

Im Berichtsjahr gingen erstmalig zwei größere Rachenlehren zur Prüfung ein, für die eine einfache, in Fig. 2 skizzierte Meßanordnung benutzt wurde. Die Lehre R wird über einem genuteten Stahllineal N zwangsfrei derart befestigt, daß die Meßflächen senkrecht zur Nut stehen. In der Nut liegt ein behelfsmäßig hergestelltes, zylindrisches Stahlendmaß E mit sphärischen Endflächen, das auf der Meßmaschine ausgewertet ist. E ist um etwa 0,1 mm kürzer als die Lehrenöffnung und trägt eine Strichplatte s, auf die ein Mikrometer-Mikroskop gerichtet ist. Bringt man E abwechselnd mit den beiden Meßflächen zur Berührung, so ergibt sich aus der dabei gemessenen Strichverschiebung und der Endmaßlänge die druckfreie Lehrenweite. Fehler der Führung und der Mikrometer fallen bei der Kürze der Strichverschiebung heraus.

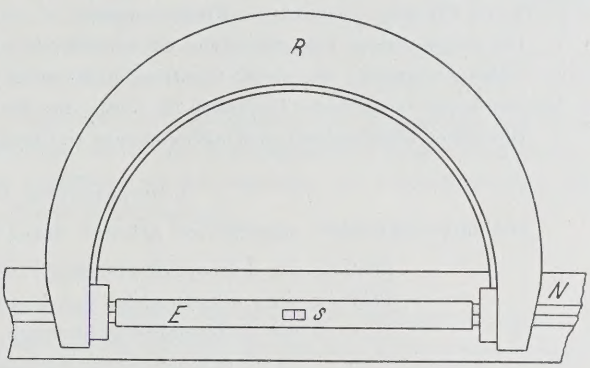


Fig. 2.

20. Wärmeausdehnung verschiedener Stahlsorten für Endmaße.

Das Ergebnis der im Temperaturintervall von — 200° bis + 150° ausgeführten Ausdehnungsbestimmungen von weichem und gehärtetem Stahl ist veröffentlicht (s. Anhang 1, Nr. 8).

Da die an zahlreichen Proben ermittelten Ausdehnungskoeffizienten für weichen Stahl sich zwischen 10,4 und $12{,}6 \cdot 10^{-6}$, bei gehärtetem Stahl zwischen 11,1 und $14{,}7 \cdot 10^{-6}$ bewegen, erscheint es unerläßlich, diesem Umstand besondere Beachtung z. B. bei Festsetzung von Fehlergrenzen für Endmaße und ähnliche Meßwerkzeuge gesteigerter Genauigkeit zuzuwenden. Es ist bereits üblich, die Ausdehnung des Stahlmaterials von Fall zu Fall besonders zu bestimmen, wenn die häufig übertriebene Genauigkeit in der Bestimmung und Angabe der Abmessungen bei praktischer Verwendung nicht hinfällig sein soll.

Über den Einfluß der chemischen Zusammensetzung des Stahles auf die Ausdehnung ist, soweit die erhaltenen Angaben dazu ausreichen, zu erkennen, daß größerer Gehalt an Mangan eine Steigerung der Ausdehnung bewirkt, wie ähnliches bereits von Bein festgestellt wurde.

21. Akustische Untersuchungen und Prüfungen.

Für die Neubestimmung der Normalgabel $a = 435$ Schw. auf absolutem Wege wurden umfassende Vorarbeiten geleistet. Sie erstreckten sich zunächst auf die Prüfung der Brauchbarkeit der Lissajous-Figuren für die Tonhöhenbestimmung im allgemeinen und führten auf eine Anordnung zur Prüfung von Stimmgabeln beliebiger Tonhöhen, für die ein absolut bestimmtes Vergleichsnormal nicht vorhanden ist.

Zwei in bekannter Weise gekreuzt montierte Stimmgabeln tragen je einen feinen Metallspalt, deren Schnittpunkt von unten beleuchtet und von oben mit einem Mikroskop beobachtet wird. Von den Gabeln hat die eine, in der Regel die tiefere, die Schwingungszahl 100 und wird elektromagnetisch erregt. Ihre Schwingungszahl, die durch Zusatzmassen und durch Änderung des elektrischen Antriebes in weiteren und engeren Grenzen geändert werden kann, wird mittels des phonischen Rades und des Streifenchronographen bestimmt. Aus der gleichzeitig beobachteten Lissajous-Figur ergibt sich die Schwingungszahl der zweiten, u. U. bis zu mehreren Oktaven abweichenden Gabel mit einer Genauigkeit, die ausreicht, um die zu prüfende Gabel mittels Schwebungen anzuschließen.

Bei einfachen Schwingungsverhältnissen, z. B. bei der Doppeloktave 4 : 1, gelingt es auch, im Anschluß an die bei größeren Amplituden sichtbaren Phasenänderungen der Lissajous-Figur, die

mit diesen Änderungen synchronen, sonst leicht zu überhörenden Schwebungen mit dem Ohr wahrzunehmen und bis zum vollständigen Abklingen der Gabel messend zu verfolgen. Es kann so das a^1-Normal unmittelbar mit dem von der elektromagnetischen Gabel erzeugten und gleichzeitig am phonischen Rad gemessenen A von $\frac{435}{4} = 108{,}75$ Doppelschwingungen verglichen werden.

Nachdem von Grüneisen und Merkel die Bedingungen eingehend untersucht worden sind, unter welchen ein Röhrensender konstante und jederzeit reproduzierbare Frequenzen besitzt, ist der Bau eines derartigen Tonsenders mit Unterstützung der. Abt. II begonnen worden. Die neue Einrichtung wird, da die nötigen Kondensatoren und Zusatzinstrumente bereits beschafft sind, demnächst in Betrieb gesezt werden und zunächst für die Messung hoher Schwingungszahlen, also auch u. a. für die Prüfung von Galton-Pfeifen, dienen.

22. Uhrentechnische Untersuchungen.

Die umfassendere Inangriffnahme uhrentechnischer Untersuchungen war infolge anderweiter starker Inanspruchnahme der damit beauftragten Beamten nicht möglich. Zudem schied der einzige, in Uhrenarbeiten bewanderte Techniker im Laufe des Berichtsjahres aus.

Die bisher vorgenommenen Kraftmessungen an Uhren lassen noch keine bestimmten Schlüsse zu.

Laboratorium Ie.

23. Prüfungen für die Reichsanstalt[1]).

Die hauptsächlichsten ausgeführten Arbeiten waren folgende:

Prüfung der 3 Hauptkilogramme *W*, Nr. 7 und Kupfer (576),
Prüfung eines 5 kg-Gewichts aus Eisen,
„ von 6 Normal-Gewichtssätzen,
„ „ 5 aräometrischen Schwimmkörpern aus Glas,
„ des Zwanzig-Liter-Hohlmaßes *R*,

24. Prüfungen für sonstige Antragsteller[1]).

„ von 28 Einzelgewichten,
„ „ 14 meist analytischen Gewichtssätzen,
„ „ 14 Sätzen Kontrollgewichte für Garnwagen der Zollämter,
„ „ 12 Garnwagen,
„ „ 6 Trägheitszylindern für Magnetstäbe,
„ „ 6 Zwanzig-Liter-Getreideprobern am Aufstellungsorte (Rundreise).

Laboratorium If.

25. Handelswagen[2]).

Durch Verwendung neuer Arbeitsverfahren und in dem Bestreben nach Verbilligung der Fabrikation, sowie durch Hinzutreten von Firmen aus anderen Gebieten der Technik sind im Wagenbau, namentlich im Bau der Tafelwagen und kleineren Brückenwagen Mißstände hervorgetreten, die ein unmittelbares Eingreifen erforderten. Die Untersuchung der Gleiswagen ohne Gleisunterbrechung auf Durchbiegung von Brücke und Hebeln sind zum Abschluß gekommen. Die zugehörigen Vorschriften für die Prüfung durch die zuständigen Eichämter sind ausgearbeitet und sollen, sobald noch schwebende Verhandlungen mit der Reichsbahn (Eisenbahn-Zentralamt) und dem Normenausschuß der Wagenindustrie über die anzuordnende Art der Belastung beendet sind, veröffentlicht werden. Ein für die Prüfung großer Kranwagen bestimmter Hebelapparat zur Herstellung von Normalbelastungen bis zu 60000 kg wurde nach einem hier ausgearbeiteten Verfahren mit gutem Erfolge geprüft. Auf Grund der laufenden Systemprüfungen wurde eine Schaltgewichtswage, die erste ihrer Art, endgültig zugelassen und die zugehörigen Vorschriften ausgearbeitet. Zwei weitere Ausführungen wurden erstmalig erprobt, darunter eine mit elektrischer Bedienungsvorrichtung. Sie stellt somit einen Übergang zu den selbsttätigen Wagen dar. Auch auf dem Gebiete der Laufgewichtswagen hat eine entsprechende Entwickelung eingesetzt. Die Anträge auf Zulassung neuer Ausführungsformen von Neigungswagen und anderen Wagen mit Neigungsgewichtseinrichtungen gehen noch immer in unvermindertem Umfange ein. Die Instruktion zur Prüfung dieser Meßgeräte ist veröffentlicht worden. Nach Außerkrafttreten der Verordnung betreffend die Eichung von Meß-

---

[1]) Schultze, Wölfer, Lenk.

[2]) Felgentraeger, Schönherr, Drewitz, Blum.

geräten in Molkereien ist die Zulassung einer Neigungswage für Molkereibetriebe (Höchstlast 500 kg) beantragt worden, die nach den bisherigen Betriebsprüfungen dem hervorgetretenen Verkehrsbedürfnis genügen dürfte.

26. Wagen für besondere Zwecke[1]).

Die laufenden Systemprüfungen betrafen im wesentlichen die Wagen zur selbsttätigen Abwägung bestimmter Mengen zur Herstellung von Packungen, z. B. von Kaffee, Tee und dergl. einerseits und von Mehl andererseits, ferner die Umgestaltung älterer Bauarten auf Grund der Bekanntmachung vom 24. September 1923. Zugehörige Vorschriften für die eichamtliche Prüfung sind so weit gefördert worden, daß sie der Vollversammlung zur Beschlußfassung vorgelegt werden können.

Im übrigen wird auf die der Vollversammlung vorgelegten Denkschriften und Mitteilungen im Geschäftsbericht Bezug genommen. Die Normalgewichtssätze des Laboratoriums in einem Gewichtsbetrage von mehr als 2500 kg wurden durch einen Techniker der Zentralwerkstatt neu justiert. Einzelne Arbeiten des Arbeitsplanes konnten aus Mangel an Kräften nicht gefördert werden.

Zur Untersuchung festaufgestellter Probewagen, zur Besichtigung von Werkstätten und Eichämtern war eine größere Reihe von Dienstreisen, neben den Besichtigungen innerhalb Groß-Berlins, erforderlich. Die beiden Referenten haben regelmäßig an den Sitzungen des Gesamtverbandes des deutschen Wagenbaues und seiner Unterverbände teilgenommen.

Laboratorium Ig.

27. Laufende Prüfungen von Aräometern[2]).

Geprüft wurden (z. T. in Fortführung der im vorigen Jahresberichte erwähnten Arbeiten):

8 Gebrauchsnormal-Alkoholometer der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt (2 Sätze zu 4 Spindeln),
24 Gebrauchsnormal-Alkoholometer der Eichämter (6 Sätze zu 4 Spindeln),
4 Alkoholometer für die Beamten der Reichsmonopolverwaltung,
8 Seewasseraräometer für die internationale Meeresforschung,

zusammen 44 Apparate.

Die letzten Instrumente wurden mit Fehlerangaben (in 0,00001 der Dichte) an 5 Punkten, die übrigen mit vollständigen Fehlerangaben für alle Striche versehen.

Durch diese Prüfungen ist die Untersuchung aller (zuerst 1890 geprüften) Alkoholometer beendet. Über die Grundlagen und Ergebnisse des Neuanschlusses soll noch ausführlicher in der Zeitschrift für Instrumentenkunde berichtet werden (über die Anordnung der Fundamentalbestimmungen und die dabei benutzten Schwimmer wird auf die Arbeit von Dr. Block in *der Zeitschr. f. Instrkde.* **38.** *S. 40. 1918* verwiesen). Nunmehr sind (entsprechend einem Antrag des Thüringischen Landesamts für Maß und Gewicht) sämtliche für Eichungen benutzten Aräometer für Dichte, und zwar beginnend mit den zuerst um 1890 geprüften Aräometern für Mineralöle erneut zu prüfen.

Die Massen und Volumina der dazu erforderlichen Schwimmkörper sind zunächst ermittelt worden. Die Schwimmer haben sich in Übereinstimmung mit den früheren Feststellungen von Dr. Block *(Zeitschr. f. Instrkde.* **38.** *S. 40. 1918)* sehr wenig verändert.

Durch einige Stichproben ist ermittelt worden, welche Genauigkeit den früheren Fehlertafeln für die Aräometer der Sätze *I* und *II* der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt, sowie der Spindeln des Eichamtes Ilmenau zukommt.

28. Normung und Normaltemperatur der Aräometer sowie der chemischen Meßgeräte[1]).

Bei neuen Festsetzungen wird von der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt darauf hingewiesen, daß die Grundlage der Dichtebestimmungen die Dichte des Wassers von 4° und die Normaltemperatur 20° C sein soll. Nach gemeinsamen Beratungen des Reichsgesundheitsamtes mit der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt wird demgemäß bei den Dichteangaben im Deutschen Arzneibuch (6. Ausgabe) und bei den von dem Apotheker zu benutzenden chemischen Meßgeräten ver-

---

[1]) Felgentraeger, Schönherr, Drewitz, Blum.
[2]) Bein, Hartmann, Zipler (bis Sept. 1924).
[3]) Bein, Block, Roerdansz.

fahren werden. Die im Bereich der Heeresverwaltung erforderlichen Dichtearäometer für Schwefelsäure und Glyzerin sollen nach einem Vorschlage der Inspektion für Waffen und Geräte ebenfalls für die Normaltemperatur von 20° und die Dichteeinheit des Wassers von 4° geeicht werden.

Die Normaltemperatur von 20° C ist jetzt für alle amtlichen Zuckerspindeln der Steuerverwaltung eingeführt. Zur Beseitigung veralteter Formen von Aräometern sind gemeinsam mit dem Thüringischen Landesamt für Maß und Gewicht und dem Verband Deutscher Glasinstrumentenfabriken zu Ilmenau Richtlinien aufgestellt worden. Die Frage der Normung hängt eng zusammen mit der Möglichkeit, genügend kalibrische Rohre herzustellen (vgl. Anh. 1, Nr. 5).

29. Kapillaritätsuntersuchungen über Wulstgewichte[1]).

Wie bereits im vorigen Tätigkeitsbericht erwähnt, müssen die Wulstgewichte am Aräometer für alle gebräuchlichen Flüssigkeiten (z. B. Mineralöle, Alkohol-Wassermischungen, Sulfosprit, Schwefelsäure-Wassermischungen) mit einer Genauigkeit von 1 % bekannt sein, um die Fehlerangaben auf 0,00002 der Dichte sichern zu können. Die das Wulstgewicht bestimmende normale Oberflächenspannung α ist am einfachsten und schnellsten aus dem maximalen Wulstgewicht oder der Hallschen Lamellenspannung (in Übereinstimmung mit den Ergebnissen anderer Forscher z. B. Lenard, Fahrenwald, du Nouy) zu erhalten. Die Oberflächenspannung, welche sich aus dem Wulstgewicht beim Anspringen an einem Ringe oder einer Platte gemäß der ursprünglichen Wilhelmyschen Methode ergibt, ist stets zu groß, und zwar im allgemeinen um 2 %, bei einigen stark emporsteigenden Flüssigkeiten, wie Sulfosprit der Dichte 1,0 bis zu 5 %.

Einer Genauigkeit von 1 % ist man nur dann sicher, wenn man ständig die benutzten Flüssigkeiten auf ihre Oberflächenspannung untersucht. Eine so gebräuchliche Flüssigkeit wie Benzol kann merkliche Unterschiede je nach Herkunft und Behandlung zeigen (vgl. L. Grunmach: *Wiss. Abhandlungen N. E. K., Heft IX*). Mineralöle zeigten, wie aus der folgenden Übersicht hervorgeht, nur geringe Unterschiede im α gegen die aus der Röhrenmethode um 1890 abgeleiteten α-Werte:

Dichte	15/4	0,707	0,720	0,744	0,753	0,818	0,824
α_{15}:	1924	2,92	2,96	3,14	3,11	3,40	3,39
α_{15}:	1890	2,94	$2{,}99_5$	3,10	$3{,}13_5$	3,37	3,39.

Von den fehlenden zahlreichen Flüssigkeiten konnten nur noch die der Schwefelsäure-Wassermischungen untersucht werden. Hier besteht die größte Schwierigkeit darin, die Oberfläche der Flüssigkeit wirklich rein zu erhalten. Über die Ergebnisse wird ausführlich berichtet werden. Bemerkenswert ist, daß α zwischen Dichten 1,23 und 1,71 sich genau linear mit der Dichte ändert. Die Oberflächenspannung ist demgemäß die einzige physikalische Eigenschaft (vgl. Domke und Bein: *Zeitschr. f. anorg. Chem.* ***43.*** *S. 125. 1905*), die kein Maximum hat. Dieser Verlauf ist nur möglich, wenn die Schwefelsäure zwischen 1,23 und 1,71 ein Gemisch von 2 in ihrer Zusammensetzung unveränderlichen Hydraten etwa $2\,H_2SO_4 + 3\,H_2O (S(OH)_5 - O - S(OH)_5)$ und $2\,H_2SO_4 + 12\,H_2O$ ist. Die Beobachtungen von L. Morgan (*Journ. Amer. Chem. Soc.* ***38.*** *S. 355. 1916*) nach der Tropfenmethode weichen systematisch ab, wahrscheinlich weil die Zähigkeit beim abfallenden Tropfen nicht berücksichtigt ist.

30. Untersuchungen über den Randwinkel[1]).

Ob eine Flüssigkeit einen festen Körper richtig benetzt, läßt sich entscheiden, wenn man den Randwinkel der Flüssigkeit bestimmt. Nach der Auffassung von v. Dallwitz-Wegener (*Petroleum* ***19.*** *S. 1239* und *Zeitschr. f. techn. Physik* ***5***) besteht bei Schmierölen ein enger Zusammenhang der Schmierfähigkeit mit der Benetzung oder dem Randwinkel. Eine Reihe von Vorversuchen hat aber ergeben, daß ein von Null merklich verschiedener Randwinkel nur selten nachweisbar ist, und zwar meist, wenn auf der Oberfläche Putzmaterialien wie Wiener Kalk vorhanden sind. Die Bestimmungen der Wulstgewichte von Schmierölen ergeben keine Spur von einem Randwinkel.

31. Laufende Prüfungen von Meßwerkzeugen für wissenschaftliche u. technische Untersuchungen[2]).

Es gelangten zur Prüfung und Beglaubigung folgende Glasinstrumente:

[1]) Bein.
[2]) Roerdansz.

1 Pyknometer,
6 Kolben für die Maßanalyse,
6 Viskosimeterkolben,
15 Vollpipetten,
15 automatische Pipetten,
14 Kapillar-Pipetten für Blutuntersuchungen,
4 Kapillar-Winkelröhren für medizinische Untersuchungen,
1 Meßzylinder,
29 Butyrometer,
10 Büretten,
1 Überlauf-Bürette,
14 zerlegbare Büretten mit automatischer Nullpunkteinstellung.

zusammen 116 Geräte.

Untersuchungen an medizinischen Spritzen auf die in ihnen herrschenden Drucke, auf die Elastizität des Spritzenmaterials und die Gangart der Spritzen. *32. Untersuchungen von Meßgeräten*[1].

Prüfung verschiedener Systeme von kapillaren Blutmischpipetten und Blutkörperchen-Zählkammern.

Ausarbeitung einer neuen Prüfungsmethode für Butyrometer durch Auswägung vermittelst 93% Alkohols.

Es wurde für die Meßwerkzeuge für wissenschaftliche und technische Untersuchungen, sowie für die medizinischen Spritzen eine neue Instruktion ausgearbeitet. Zur Volumbestimmung von Meßwerkzeugen wurden ferner einige Tafeln berechnet. *33. Instruktion zur Prüfung von Meßgeräten*[1].

Laboratorium Ih.

Es wurden zugelassen 4 Sonderkonstruktionen von Gasmessern, sowie in 11 Fällen Gasmesser mit heraufgesetzter Leistungsfähigkeit („Hochleistungsgasmesser"). *34. Zulassung von Gasmessern zur Eichung (Systemprüfungen)*[2].

Das Verfahren bei der Zulassung von „Hochleistungsgasmessern" wurde wiederholt neu geregelt *(Mitt. 1924, Nr. 2 und 4).*

Arbeiten betreffend die Einführung einer Nacheichung der Gasmesser, ferner betreffend Änderungen und Ergänzungen der Eichordnung und Instruktionen, im besonderen zu § 128 Nr. 4 der Eichordnung (Bedeutung des *V* der Gasmesser), zu § 128 Nr. 10 der Eichordnung (Beschildung ausgebesserter Gasmesser), zu Nr. 2b der Instruktion VIII (Prüfungsscheiben großer nasser Gasmesser), zu Nr. 9b der Instruktion VIII (Grenze des Betriebswiderstandes der Gasmesser). *35. Vorschriften betreffend Gasmesser*[3].

Konstruktion und Prüfung eines Mikromanometers für Gasmesseruntersuchungen, sowie Entwurf einer Veröffentlichung darüber. *36. Prüfungsmittel für Gasmesser*[4].

Bearbeitung und Erprobung eines in Holland gebräuchlichen, in Deutschland bisher nicht beachteten Verfahrens zur Prüfung von Gasmesser-Kubizierapparaten (Anh. 1, Nr. 6).

Prüfung eines Kontrollgasmessers für eine Eichungsaufsichtsbehörde. *37. Einzelprüfungen*[2].

Der Strömungsmesser wurde weiter verbessert, indem der Vormeßbereich für kleinste Durchflußgeschwindigkeiten durch eine besondere Einrichtung mit dem Hauptmeßbereich in Übereinstimmung gebracht wurde, um von Null an Proportionalität zwischen Hubhöhe des Schweberohres und Strömung zu erzielen. *38. Stömungsmesser als registrierender Wassermesser*[5].

Für die Eichung (Prüfung und Stempelung) der für eichfähig erklärten Herbstgefäße und Milchgefäße mit Abstichstab für Sennereien wurden die erforderlichen Vorschriften erlassen. *39. Herbstgefäße und Milchgefäße mit Abstichstab für Sennereien*[5].

Entsprechend der in Deutschland durch den Krieg und die Nachkriegszeit zurückgehaltenen, seit einiger Zeit um so stärker einsetzenden Entwickelung auf dem Gebiet der Kraftfahrzeuge ist in dem Verkehr mit Mineralölen, im besonderen Benzin, nach Meßgeräten besonderer Bauart für Tankanlagen ein dringendes Bedürfnis eingetreten. Eine Reihe von Firmen hat Anträge auf Zu- *40. Meßgeräte für Benzin-Tankanlagen (Systemprüfungen, Probezulassungen)*[5].

[1]) Roerdansz. [2]) Weymann. [3]) Weymann, Dziobek. [4]) Block. [5]) Zingler.

lassung von Meßgeräten zur Eichung gestellt. Zur Eichung wurden nach erfolgter Untersuchung bisher 7 verschiedene Konstruktionen probeweise zugelassen.

41. Auslegung von Vorschriften[1]. Über die Auslegung der gesetzlichen Bestimmungen der Maß- und Gewichtsordnung, sowie der Vorschriften der Eichordnung sind eine Anzahl von Anfragen beantwortet worden.

42. Prüfungen[2]. Es wurden geprüft:

2 Wassermesser,
7 Scheibenmesser für Gasöl,
144 „ „ Benzin,
2 gläserne Eichkolben.

Werkstatt und Referat für mechanisch-technische Angelegenheiten.

43. Werkstatt[3]. Von größeren Arbeiten wurde beendet eine Einrichtung zur Herstellung feiner Strichteilungen, welche die bisher für diese Zwecke benutzten, für andere Arbeiten aber stark in Anspruch genommenen Apparate entlasten soll und gleichzeitig auch die Herstellung von Teilungen auf Bandmaßen ermöglicht. Fortgesetzt wurden die Arbeiten an den Strömungswassermessern.

Im übrigen war das technische Referat außer mit zahlreichen kleineren internen Aufgaben mit einer Bearbeitung der an die Beschaffenheit von Stempelstellen eichpflichtiger Geräte zu stellenden Anforderungen befaßt. Eine Berichterstattung und Besprechung in der letztjährigen Vollversammlung führte zu einer Umfrage bei den Aufsichtsbehörden, deren Ergebnisse in Bearbeitung sind.

Abteilung II.

Unterabteilung IIa.

44. Störungsfreie astatische Galvanometer[4]. Die Untersuchungen über störungsfreie astatische Galvanometer wurden fortgesetzt und haben dazu geführt, daß die Firma Siemens & Halske sich mit der Konstruktion solcher Galvanometer nach einem von Herrn Nernst ausgearbeiteten Modell beschäftigt. Die innere Astasierung des Nadelsystems erfolgt durch zwei kleine Hilfsmagnete, von denen der eine in Richtung der Achse der Hauptmagneten, der andere senkrecht dazu steht; die Horizontalkomponente des magnetischen Moments dieser Magnete kann durch Drehen derselben in einer vertikalen Ebene variiert werden. Die Justierung des Systems auf Störungsfreiheit geschieht mit Hilfe starker Stabmagnete, die in einer Horizontalebene bei etwa 2 m Entfernung von dem Nadelsystem umgedreht werden; die Horizontalebene liegt in der Höhe, die durch die Mitte zwischen beiden Nadelsystemen gegeben ist. Dabei werden zwei Lagen benutzt, eine parallel zu den Nadeln, die andere senkrecht dazu. Beim Umlegen der Stabmagnete darf dann kein Ausschlag des Nadelsystems erfolgen. Statt des zu den Nadeln parallelen Hilfsmagneten kann auch ein Eisenring benutzt werden, der das Drehmoment des Erdfeldes auf das stärkere Nadelsystem schwächt; auch können Eisenringe in Verbindung mit Hilfsmagneten in verschiedenen Kombinationen benutzt werden. Für die letzte Justierung sind fein verstellbare dünne Eisenringe sehr bequem. Wichtig ist es auch, das System möglichst vor Luftströmungen zu schützen und daher den Raum, in dem sich die schwingenden Teile bewegen, möglichst klein zu machen. Die Untersuchungen über diese Galvanometer werden z. Z. im Physikalischen Institut der Universität Berlin unter Leitung von Herrn Nernst fortgesetzt. Bei den großen magnetischen Störungen, welche jetzt durch die elektrischen Straßenbahnen bewirkt werden und die auch das Kugelpanzergalvanometer bei größerer Schwingungsdauer beeinflussen, ist die Herstellung empfindlicher störungsfreier Galvanometer von großer Wichtigkeit.

45. Kondensator im Wechselstromkreis mit Ventil[5]. Für die theoretischen Betrachtungen wurde eine rein sinusförmige Wechselspannung angenommen, die durch einen Widerstand (R_1), einen Kondensator (C) und einen idealen Gleichrichter geschlossen ist; zu dem Kondensator liegt ein zweiter Widerstand (R_2) parallel, in dem dann ein mehr oder weniger konstanter Gleichstrom fließt. Von Interesse ist hauptsächlich die mittlere Spannung am Widerstand R_2 und die Form dieser Spannungskurve, die beide nur von zwei Faktoren, näm-

---

[1] Zingler. [2] Hartmann, Zipler. [3] Thomas. [4] Nernst, Jaeger.
[5] Jaeger, v. Steinwehr.

lich den Widerstandsverhältnissen R_2/R_1 und R_2/R_c abhängen, wenn $R_c = 1/\omega C$ den kapazitiven Widerstand des Kondensators für die Kreisfrequenz ω bedeutet. Bei den experimentellen Untersuchungen, die mit Wechselstrom von der Frequenz 50 und der Spannung 120 Volt unter Benutzung von Glimmerkondensatoren und Kundtschen Widerständen ausgeführt wurden, ist die Bedingung eines idealen Ventils annähernd durch ein Senderohr mit vorgeschaltetem großen Widerstand verwirklicht worden. Die Experimente]bestätigten die theoretisch abgeleiteten Formeln. Die Untersuchungen sind veröffentlicht worden (Anhang 1, Nr. 25).

46. Bestimmung der Verbrennungswärme v. Normalsubstanzen[1].

Die Verbrennungswärme von Normalsubstanzen wurde in den Jahren 1903 und 1906 mit Hilfe eines in der Reichsanstalt auf elektrischem Wege geeichten Verbrennungskalorimeters von E. Fischer und Wrede in Joule bestimmt. In der Literatur finden sich verschiedene Kritiken über diese Bestimmung, in denen die von der Reichsanstalt ausgeführte Eichung ohne Angabe von Gründen als fehlerhaft bezeichnet wird. Die Reichsanstalt hat deshalb zu dieser Frage in einer Veröffentlichung Stellung genommen (Anhang 1, Nr. 26). Um die noch vorhandenen Unsicherheiten aufzuklären, soll in der Reichsanstalt sowohl die elektrische Eichung des Kalorimeters ausgeführt, als auch die Verbrennungswärme von Benzoesäure nochmals gemessen werden. Die Reichsanstalt hat sich an das Bureau of Standards gewandt mit der Anregung, daß dort gleichzeitig die Messungen wiederholt werden und zwar unter Benutzung derselben Substanz. Durch Vermittlung von Prof. Verkade in Rotterdam hat die Reichsanstalt eine Probe der vom Bureau of Standards hergestellten Benzoesäure erhalten, die nach den internationalen Beschlüssen vom „Bureau de l'Institut international d'Étalons physico-chimiques" in Brüssel als Normalsubstanz vertrieben wird. Die Vorarbeiten sind in Angriff genommen.

47. Absolute Strommessung[1].

Aus verschiedenen Gründen ist die Möglichkeit erwogen worden, als zweite absolute elektrische Einheit neben dem Ohm nicht das Ampere, sondern das Volt absolut zu bestimmen. Um das Volt in elektromagnetischen Einheiten zu erhalten, kann bei einem Schutzringkondensator die Anziehungskraft der Platten für eine bestimmte Spannung gemessen und die Kapazität des Kondensators in elektromagnetischem Maße nach der Maxwellschen Methode ermittelt werden. Die Untersuchungen hierüber konnten vorläufig anderer Arbeiten wegen noch nicht in Angriff genommen werden.

48. Hochfrequenztelephon[2].

An dem Kondensatortelephon wurde folgende Verbesserung angebracht: Die kreisförmige Platte K_2 (Fig. 3), welche die eine Elektrode bildet und der Membran K_1 im Abstand von etwa 0,1 mm gegenübersteht, wurde statt aus massivem Metall aus engmaschigem Drahtgeflecht hergestellt. Hierdurch ergab sich bei sonst gleicher Bauart und Erregung eine erheblich verbesserte Lautstärke.

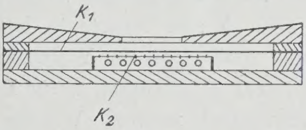


Fig. 3.

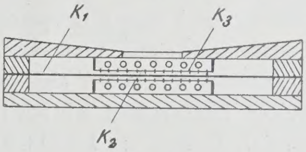


Fig. 4.

Ferner wurden Versuche mit einem „polarisierten Kondensatortelephon" angestellt. Dasselbe besteht (Fig. 4) aus einer Membran K_1 zwischen zwei Elektroden K_2 und K_3, an welche zum Empfang von Tonfrequenz eine konstante Spannung $V_2 - V_3$ angelegt wird, während K_1 nahezu des Potential $\frac{1}{2}(V_2 + V_3)$ erhält. Zum Empfang ungedämpfter Hochfrequenzschwingungen erzeugt man zwischen K_2 und K_3 eine Schwingung mit nahezu der Schwingungszahl der zu empfangenden Welle. Die von der aufzunehmenden Schwingung herrührende Spannung wird in beiden Fällen (im ersteren über Blockkondensatoren) an K_1 und K_3 oder K_1 und K_2 gelegt. Bei völliger Symmetrie muß ohne Empfangswelle in beiden Fällen trotz angelegter Hilfsspannung die Membran in der Mitte im Gleichgewicht bleiben, während bei Fortfall von K_3 und kleiner Federkonstante der Membran die letztere leicht an K_2 festklebt. Auch bei nicht völliger Symmetrie lassen sich die Verhältnisse so wählen, daß die Membran nahezu in der Mitte eine Ruhelage hat.

[1]) Jaeger, v. Steinwehr. [2]) Meißner.

49. Mehrlagige Hochfrequenzspulen [1]). Für die Empfangsversuche mit dem Hochfrequenztelephon wurde eine mehrlagige Spule von etwa 0,4 Henry hergestellt, die möglichst kleine Eigenkapazität und Dämpfung haben sollte. Im Zusammenhang mit den praktischen Versuchen wurde die Frage auch theoretisch in Angriff genommen:

Für eine durch eine Kapazität C_0 geschlossene Spule gilt, solange die Vorgänge als quasistationär angesehen werden können, nach dem Energieprinzip und den Maxwellschen Gleichungen:

$$d\left(\frac{1}{2} e_0 V_0\right) + d\left(\frac{1}{2}\int de_s V_s\right) + d\left(\frac{E}{2c^2}\right) + d(W) = 0; \qquad e_0 = C_0 V_0,$$

wenn V_0 die Spannung und e_0 die Ladung von C_0, de_s die Ladung an einer Stelle des Spulendrahtes mit der Spannung V_s, $\frac{1}{2c^2}E$ die magnetische Energie und W die Joulesche Wärme ist. Vergleicht man diese Gleichungen mit der entsprechenden für einen linearen Schwingungskreis ohne verteilte Kapazität aus Kapazität C, Selbstinduktion L und Widerstand R, in dem der Strom J fließt,

$$d\left(\frac{1}{2} e V_0\right) + d\left(\frac{1}{2c^2} J^2 L\right) + J^2 R\, dt = 0; \qquad e = C V_0,$$

so sieht man, daß die Gleichungen identisch werden, falls man setzt

$$C = C_0 + \frac{1}{V_0^2}\int de_s V_s = C_0 + C_s; \qquad L = \frac{E}{J^2}; \qquad J = C\frac{dV_0}{dt}; \qquad R = \frac{dW}{J^2 dt}.$$

Aus der Formel für C folgt das experimentell bekannte Ergebnis, daß sich die verteilte Spulenkapazität durch eine additiv zu C_0 tretende Kapazität C_s ersetzen läßt, falls $\frac{1}{V_0^2}\int de_s V_s$ unabhängig von V_0 ist. Die Berechnung des Ausdruckes für C_s wurde durchgeführt unter der einfachsten Annahme eines linearen Abfalles von V längs des Spulendrahtes, wobei sich für manche Zwecke brauchbare Annäherungsformeln ergaben.

Bezüglich der Dämpfung ist bei verdrillten Litzenspulen folgendes zu beachten: Die durch Potentialdifferenzen zwischen benachbarten Windungen und Lagen auf dem Spulendraht hervorgerufenen Ladungen haben im Innern der Spule an gegenüberliegenden Stellen des Drahtes entgegengesetztes Vorzeichen. Bei Veränderung dieser Ladungen entstehen in Volldrähten in der Hauptsache Querströme senkrecht zur Drahtrichtung, die geringe Joulesche Wärme erzeugen. Bei verdrillter Litze aber müssen diese Kapazitätsströme ein gewisses Stück des dünnen Litzendrahtes durchströmen und erzeugen entsprechend größere Joulesche Wärme. Eine nähere Betrachtung zeigt, daß der diesem Vorgang entsprechende, nach der oben für R angegebenen Formel berechnete scheinbare Spulenwiderstand proportional $\omega^4 + b\omega^6$ ist, wenn b eine Konstante bedeutet. Die inneren Kapazitätsströme bilden also prinzipiell einen Grund dafür, daß die Widerstandszunahme von mehrlagigen Litzenspulen erheblich stärker als proportional ω^2 anwächst, wofür Lindemann die dielektrischen Verluste im Dielektrikum der Spule verantwortlich machte. Wie die beiden Ursachen quantitativ eingehen, bedarf näherer Untersuchung.

50. Untersuchungen über Gasentladungen [2]). *a) Quecksilbergleichrichter.* Nach Mitteilung einer Firma waren in der Kälteperiode des vorigen Winters wiederholt an Gleichrichteranlagen, die sich in kalten Räumen befanden, sehr hohe Überspannungen aufgetreten, die empfindliche Zerstörungen in der Anlage zur Folge hatten. Es wurde infolgedessen untersucht, unter welchen Umständen Überspannungen an Quecksilbergleichrichtern auftreten, welche Folge sie haben und wie sie zu vermeiden sind. Die Versuche sind veröffentlicht (Anhang 1, Nr. 39).

Die Versuche über den Umschlag der Glimmentladung in den Lichtbogen, die sogenannte Rückzündung, wurden fortgesetzt, aber noch nicht abgeschlossen. Es kommt bei ihnen — ähnlich wie bei der Ermittelung der dielektrischen Festigkeit fester Körper — auf die Herstellung vollkommen reiner, glatter Elektrodenoberflächen an, was die Ermittelung exakter Werte sehr erschwert.

b) Glimmentladung. Die Versuche, die größtenteils veröffentlicht sind, erstrecken sich auf die Energieverteilung an der Kathode der Glimmentladung, den Zusammenhang zwischen normalem Kathodenfall und Ablösearbeit der Elektronen, die Wirkung eines transversalen Magnetfeldes an der Kathode, die

[1]) Meißner. [2]) Güntherschulze.

chemischen Reaktionen in der Glimmentladung, den Kathodenfall, die Stromstärke und die Fallraumdicke der Glimmentladung in Gasen, die chemisch nicht miteinander reagieren, und einige neue charakteristische Abstände bei der Glimmentladung.

Ferner wurde das in den Wehnelt-Hochspannungsgleichrichtern auftretende Pseudohochvakuum untersucht, sowie gezeigt, daß bei der Elektrolyse wäßriger Elektrolyte mit einer Gaskathode Erscheinungen auftreten, die von denen der gewöhnlichen Elektrolyse vollständig verschieden sind. Endlich wurde eine Theorie der geschichteten Entladung aufgestellt. Die Arbeiten sind im Druck.

c) Aufklärung des Auftretens von Gold in Quecksilber bei Gasentladungen.

Versuche zur Aufklärung der Mietheschen Entdeckung des Auftretens von Gold in Quecksilber bei Gasentladungen in Quecksilberdampf wurden begonnen.

51. Verhalten von Silitwiderständen bei Hochfrequenz[1].

Die Leitfähigkeit mancher Silitwiderstände ist stark von der Spannung abhängig. Bei Belastung mit Gleichstrom wurden Widerstandsabnahmen bis auf 6‰ des bei kleinen Spannungen vorhandenen Widerstandes beobachtet. Bei Hochfrequenzschwingungen bis herab zu Wellen von 1400 m Länge blieb die Spannungsabhängigkeit der Silitwiderstände bestehen, so daß Silitwiderstände in Verbindung mit Vorspannung als Detektoren benutzt werden können. Die Kapazität der gebräuchlichen Formen (Durchmesser 0,6 cm, Länge 4,3 cm) ergab sich zu 10 bis 20 cm.

52. Ozonbildung mit Siemensrohr bei verschiedenen Drucken[2].

Die Beziehung zwischen der Stromausbeute A an Ozon (g Ozon pro Amperestunde) und dem Sauerstoffdruck p wurde für sehr kleine Ozonkonzentration (Nullausbeute) in Siemensschen Ozonröhren bei Dicken d des Entladungsraumes von 1,54 und 3,5 mm zwischen $p = 760$ und 28 mm Quecks. untersucht. Mit abnehmendem Druck wächst bei gleicher Spannung die Stromstärke, weil die kleinste Spannung M zwischen den Grenzflächen des Entladungsraumes, bei welcher ein Leitungsstrom durch den Entladungsraum fließt, mit abnehmendem Druck sinkt. *(Verh. d. Deutsch. Phys. Ges.* ***5.*** *S. 382. 1903.)* A indessen nimmt bei Druckabnahme von 760 mm anfangend erst langsam, dann schneller ab und erweist sich für kleine Drucke, etwa von 150 mm abwärts, dem Druck proportional. A/p ergab sich bei diesen kleinen Drucken für $d = 1{,}54$ mm und einer angelegten Spannung von 7200 Volt gleich 1,2, für $d = 3{,}5$ mm und einer Spannung von 9830 Volt gleich 2,1. In roher Annäherung ist $A = A_0 (1 - e^{-\alpha p})$. Die Angaben von Chassy *(C. R.* ***143.*** *S. 1920. 1906)*, daß unterhalb 60 mm Druck die Ozonbildung aufhört, bestätigt sich nicht, noch bei 7 mm ließ sich sowohl für $d = 1{,}54$ als 3,5 mm Ozonbildung nachweisen. Die Ozonbildung in atmosphärischer Luft ist größer als dem Partialdruck des Sauerstoffes entspricht.

53. Ammoniakbildung im Siemensrohr[2].

Ferner wurde die Bildung von Ammoniak aus dem stöchiometrischen Gemisch von Wasserstoff und Stickstoff untersucht und viel kleiner gefunden als von Davies *(Zeitschr. für physikal. Chem.* ***64.*** *S. 657. 1908)*, mochte das gebildete Ammoniak chemisch durch das Nesslersche Reagens bei strömendem Gase oder durch Druckabnahme in geschlossenem Raum bestimmt werden.

54. Untersuchungen an Metallkristallen[3].

a) Elastische Konstanten.

Die Ergebnisse für Zink und Kadmium sind veröffentlicht (Anhang 1, Nr. 15).

b) Thermische Ausdehnung.

Die Ausdehnungsmessungen an Zn- und Cd-Einkristallstäben ‖ und ⊥ zur hexagonalen Achse wurden bis — 253° C fortgeführt. Es zeigte sich, daß der an sich schon kleine Ausdehnungskoeffizient von Zn ⊥ unterhalb — 193° C negativ wird, der auffallend hohe Ausdehnungskoeffizient von Zn ‖ erst nach Erreichen eines Maximums bei etwa — 120° C rasch abzufallen beginnt. Entsprechendes ergab sich bei Cd, wenn auch das Gebiet des negativen Ausdehnungskoeffizienten noch nicht erreicht wurde. Die beobachteten Erscheinungen, welche für hexagonale Kristalle von starker Anisotropie charakteristisch sein dürften, lassen sich aus der Theorie der festen Körper zwanglos erklären. Die Ergebnisse sind veröffentlicht (Anhang 1, Nr. 17).

c) Elektrisches Leitvermögen.

Es wurde versucht, auf Grund der früher beschriebenen Widerstandsmessungen an Zn- und Cd-Einkristallen, die an noch reinerem Material ergänzt wurden, eine Entscheidung darüber zu treffen, ob die Atomelongationen senkrecht zur Stromrichtung oder die in der Stromrichtung den elektrischen Widerstand beeinflussen. Die zweite Annahme, welcher die Vorstellung zugrunde liegt, daß die Leitungselektronen in der Stromrichtung von Atombereich zu Atombereich übergehen, erscheint geeignet, die experimentellen Tatsachen zu erklären. Doch gelang es nicht, die erste Annahme als unmöglich zu erweisen. Die Ergebnisse sind veröffentlicht (Anhang 1, Nr. 16).

---

[1]) Güntherschulze und E. Alberti. [2]) E. Warburg als Gast.
[3]) Grüneisen, Goens.

Thermokraft. Für die theoretische Deutung der Thermokräfte in Metallen ist es erschwerend, daß immer zwei verschiedene Metalle zur Wirkung kommen. Man kann einfachere Verhältnisse erwarten, wenn man ein und dasselbe Metall in zwei thermoelektrisch verschiedenen Orientierungen untersucht, z. B. Zn oder Cd || und ⊥ zur hexagonalen Achse. Zahlreiche Messungen, besonders in tiefer Temperatur, zwischen $+100^0$ und -253^0 C führten bei beiden Metallen zum gleichen Kurventypus für die Thermokraft zwischen den genannten Orientierungen. Die Thermokräfte ähneln dem absoluten Betrage nach der Thermokraft Pb—Cu. Der Strom fließt bei allen Temperaturen an der warmen Lötstelle von dem || zur Achse zu dem ⊥ zur Achse orientierten Kristall. Die Thermokraft $e = dE/dt$ steigt vom Werte 0 beim absoluten Nullpunkt aus stark beschleunigt an, erreicht ein Maximum, nimmt etwas ab und steigt bei höherer Temperatur wieder an.

55. Thermokraft reiner Metalle in tiefer Temperatur[1]. Um festzustellen, inwieweit sich der soeben beschriebene Typus auch bei der Thermokraft zweier verschiedener Metalle ausprägt, wurden polykristalline Drähte von reinstem Al, Fe, Ni, Ag, Pt, Pb gegen Cu zwischen 0^0 und -253^0 C eingehend gemessen. Die Untersuchung ist noch nicht abgeschlossen.

Unterabteilung IIb.

56. Übersicht über die Prüfungsarbeiten. Die Zahl der Prüfungen hat sich gegen das Vorjahr (geklammerte Zahlen) fast durchweg gehoben, zum Teil so stark, daß die wissenschaftlichen Arbeiten dadurch erheblich behindert wurden.

A. Laboratorium für Grundeinheiten[2]).

14 (13) Proben Leitungsmaterial (1 Antennenlitze, 6 Aluminiumdraht, 2 Emailledraht, 4 Eisendraht, 1 Aluminiumseil).
9 (13) Proben Widerstandsmaterial (Gußeisen bzw. Stahlguß).
111 (43) Einzelwiderstände.
27 (14) Widerstandssätze, einschl. Verzweigungswiderstände (827 Abteilungen).
5 (0) Wasserproben.
0 (0) Clark-Elemente.
165 (90) Internationale Weston-Elemente.
13 (76) Weston-Elemente mit bei 4^0 gesättigter Lösung.

Von den geprüften Einzelwiderständen waren 86 in Drahtform, 25 in Blechform. Von den Widerstandsprüfungen waren je eine für Schweden und die Schweiz, 8 für Polen und 45 für Japan bestimmt.

Die Abweichungen vom Sollwert lagen bei den internationalen Weston-Elementen bei 113 Elementen unterhalb $+1 \cdot 10^{-4}$ Volt, bei 47 Elementen zwischen $+1$ und $+2 \cdot 10^{-4}$ Volt. 5 zum Teil ältere zur Prüfung eingegangene Elemente erwiesen sich als vollkommen unbrauchbar.

Die Prüfung der Weston-Elemente mit bei 4^0 gesättigter Lösung ergab:

bei 1 Element	$1{,}0187_5$ Volt
„ 1 „	6_5 „
„ 2 „	6 „
„ 5 „	5 „
„ 1 „	4 „
„ 1 „	2 „
„ 2 „	1 „

Außerdem wurden 11 Proben Mercurosulfat auf ihre Verwendbarkeit für Normalelemente geprüft.

---

[1]) Grüneisen.
[2]) v. Steinwehr, A. Schulze.

Für die Laboratorien der Reichsanstalt wurden geprüft:

4 Drahtwiderstände,
8 Widerstandsapparate,
1 Prüfungseinrichtung für Kalorimeter,
1 Platinstreifen für Bolometer,
2 Normalelemente,
8 Wasserproben auf Leitfähigkeit.

B. Laboratorium für Wechselstromnormalien und Hochfrequenz[1]).

19 (18) Induktivitäten,
1 (0) Induktivitätsmeßbrücken,
48 (40) Kapazitäten,
19 (12) Kapazitätssätze [171 (165) Abteilungen],
34 (15) Kapazitätsvariatoren,
185 (176) Verlustwinkel fester Kondensatoren,
8 (1) Verlustwinkel von Kapazitätsvariatoren,
9 (0) Widerstände (einschl. Isolationsmessungen),
3 (0) Dielektrizitätskonstante fester Isolatoren,
3 (5) Verlustwinkel fester Isolatoren,
13 (1) Kapazitätsmeßbrücken,
0 (2) Fernhörer,
17 (4) Wellenmesser,
1 (0) Meßgerät für Wellenlängen und Kapazitäten,
1 (0) Meßsender mit Dämpfungsmeßgerät,
12 (0) Dämpfungsdekremente von Spulen,
1 (0) Detektoren.

Für Laboratorien der Reichsanstalt wurden geprüft:

3 (8) Kapazitäten,
1 (3) Kapazitätssätze [2 (56) Abteilungen],
2 (1) Kapazitätsvariatoren,
0 (56) Verlustwinkel von Kondensatoren,
1 (0) Kapazitätsmeßbrücken.

C. Gleichstromlaboratorium[2]).

20 (28) Apparate zur Messung der Spannung und Stromstärke,
18 (14) „ „ „ „ Leistung,
19 (7) „ „ „ „ Arbeit (Elektrizitätszähler),
8 (13) Vor- und Nebenwiderstände,
1 (0) Widerstände von Leitungen,
45 (16) Primärelemente,
23 (18) Systemprüfungen von Gleich- und Wechselstromzählern,
2 (5) Vorprüfungen von Zählersystemen.

Für die einzelnen Laboratorien der Reichsanstalt wurden geprüft:

46 (45) Normalwiderstände, Strom-, Spannungs- und Leistungsmesser und Zähler.

---

[1]) Giebe, Alberti bis 1. 6. 24, Zickner, Goens ab 1. 6. 24.
[2]) Schmidt, Scheld.

D. Wechselstromlaboratorium[1])

I. Meßapparate.

2 (9) Spannungs- und Stromzeiger,
6 (4) Leistungszeiger,
108 (91) Elektrizitätszähler,
221 (145) Strom- und Spannungswandler,
2 (1) Phasenmesser,
1 (0) Frequenzmesser,
4 (0) Kabelmeßbrücken.
20 (3) Hochspannungszähler-Aggregate wurden im Betriebe an Ort und Stelle geprüft.

II. Wechselstromgrößen.

1 (10) Winkelfehler von Widerständen.

III. Isolations- und Installationsmaterial[2]).

80 (60) Feste Isoliermaterialien,
0 (3) Isolierlacke,
16 (3) Isolatoren,
3 (0) Isolierrohre,
27 (10) Öle,
9 (17) Kabel- und Drahtleitungen,
9 (17) Schalter- und Steckvorrichtungen, Automaten, Abzweigklemmen,
1 (3) Gummihandschuhe,
15 (0) Isolierüberzüge.

IV. Technische Apparate.

1 (1) Heizapparate[3]),
0 (1) Gleichrichtrer[3]),
22 (16) Klingeltransformatoren und Relais[3]),
2 (3) Fernhörer[3]),
5 (0) Verstärkertransformatoren,
2 (0) Blitzschutzsicherungen,
4 (3) Verschiedenes.

V. Systemprüfung.

3 (1) Prüfung von Stromwandlersystemen,
0 (5) Prüfung von Spannungswandlersystemen,

VI. Röntgenapparate.

34 (0) Eichung von Dosismessern verschiedener Art.

E. Maschinenlaboratorium[4]).

11 (31) Generatoren und Motoren,
2 (0) Anlasser,
3 (2) Apparate,
1 (1) Abnahme von Maschinen.

F. Magnetisches Laboratorium[5]).

44 (27) Proben Flußeisen, Gußeisen, Magnetstahl,
86 (66) Proben Dynamo- und Transformatorenblech,
6 (0) permanente Magnete,
1 (1) Magnetisierungsapparat nach Koepsel-Kath.

---

[1]) Schering, Reichardt, Behnken, Engelhardt, Burmester.

[2]) Es ist die Zahl der untersuchten Sorten bzw. Konstruktionen, nicht der Einzelstücke angegeben.

[3]) Schmidt, Scheld.

[4]) V. Vieweg, R. Vieweg, Linckh.

[5]) Gumlich (bis 1. 6. 21), Steinhaus.

Von den Dynamo und Transformatorenblechen wurden 47 (34) wattmetrisch, 39 (32) statisch untersucht. Für eine Probe wurde der Sättigungswert bestimmt. Die Zahl der beschleunigten Prüfungen betrug 8 (8).

57. Referat für das elektrische Prüfwesen[1]).

a) Zulassung von Zählern.

Es wurden zur Beglaubigung zugelassen

Gleichstromzähler: 1 neues System, 5 Abänderungen bzw. Zusätze.

Zähler für ein- oder mehrphasigen Wechselstrom: 7 neue Systeme, 9 Abänderungen bzw. Zusätze.

Stromwandler: 1 neues System, 2 Abänderungen bzw. Zusätze.

Eine Ablehnung der Zulassung erfolgte in einem Fall.

b) Tätigkeit der Prüfämter.

Eine Übersicht über die Prüftätigkeit der einzelnen Ämter gibt die nachstehende Tabelle. Die Prüfbefugnis des Prüfamts 6 wurde für Wechsel- und Drehstromprüfungen im Amte bis 22000 V und 400 A, für Wechsel- und Drehstromprüfungen am Betriebsorte bis 12000 V und 400 A erweitert.

Tabelle.

Meßgeräte	Prüfämter						
	Ilmenau	Hamburg	München	Nürnberg	Chemnitz	Frankf.a.M.	Bremen
1. Zähler im ganzen eingereicht	307	347	30813	2678	10	9862	9639
Davon gehören einem zur Beglaubigung zugelassenen System an	8	220	8070	2389	10	9834	8898
Bei der Einsendung hielten die Verkehrsfehlergrenzen nicht ein	135	167	8426	63	—	78	264
Von den in Zeile 1 aufgeführten Zählern wurden							
a) mit dem Beglaubigungsstempel versehen	8	152	6442	2337	7	9410	6588
b) mit dem Verkehrsstempel versehen	10	148	17114	202	3	349	993
c) wegen Unzulässigkeit der Bauart u. dgl. zurückgewiesen	—	17	182	6	—	—	—
d) wegen Überschreitung der Verkehrsfehlergrenzen oder wegen sonstiger Mängel zurückgewiesen	—	—	327	39	—	78	—
e) nicht gestempelt, weil ohne Meßwandler, oder bei nur wenigen Punkten geprüft	289	30	6748	94	—	25	58
2. Tarifuhren, Zeitzähler und andere Tarifgeräte	—	1	10426	69	—	21	—
3. Strom-, Spannungs- und Leistungsmesser und andere Meßgeräte	8	45	140	82	1	66	125
4. Elektrische Gebrauchsgegenstände	—	18	7	93	—	6	87
5. Isolations- und Installationsmaterial	1	54	163	—	2	—	3

c) Neubearbeitung der Prüfordnung für elektrische Meßgeräte[2]).

Im Jahre 1901 ist auf Grund des Gesetzes betr. die elektrischen Maßeinheiten eine Prüfordnung für elektrische Meßgeräte von der Reichsanstalt erlassen worden; sie bezieht sich auf diejenigen Meßgeräte, die bei der Abgabe der elektrischen Arbeit zur Verrechnung der Vergütung dienen und als solche unter die Bestimmungen des angeführten Gesetzes fallen. Seit ihrem Erlaß sind einige Bestimmungen, wie die über die Beglaubigungsfehlergrenzen von Zählern, geändert worden, eine Anzahl anderer neu hinzugekommen, z. B. die Bestimmungen über die

---

[1]) Schmidt. [2]) Schmidt, Scheld.

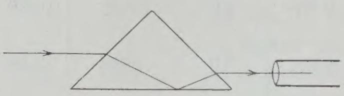
Beglaubigung von Meßwandlern und die Beglaubigung von Blindverbrauchszählern, sodaß eine Neubearbeitung der Prüfordnung wünschenswert wurde. Besonders aber drängte hierzu ein anderer Umstand. Obwohl die grundlegenden gesetzlichen Bestimmungen keine Änderung erfahren haben, hat sich doch in der Praxis hier und dort eine mißverständliche Auffassung über ihre Bedeutung, insbesondere über die Bedeutung der Verkehrsfehlergrenzen breit gemacht, die zu Mißständen geführt hat und der die Reichsanstalt wiederholt entgegentreten mußte. Mit Rücksicht hierauf war eine Änderung des Verfahrens bei den amtlichen Prüfungen von elektrischen Meßgeräten geboten, dem die Prüfordnung Rechnung tragen mußte. Der neue Entwurf der Prüfordnung ist im wesentlichen fertiggestellt. (Fortsetzung folgt.)

Referate.

Theorie und Prüfung rechtwinkliger Prismen.

Von J. W. Nicholson u. F. J. Chehire. *Proc. Roy. Soc., London* ***104.*** *S. 57è.*

Die Theorie der rechtwinkligen Prismen unterscheidet zwei Fehler, der „Winkelfehler“ gibt die Abweichung des „rechten Winkels“ von 90°; ist der Winkel, den die Hypothenusenebene des Prisma mit der einen (von einem Dreieck begrenzten) Seitenfläche bildet, nicht genau ein rechter Winkel, so gibt die Abweichung von 90° den sogenannten „Pyramidenfehler“.



Die Verfasser untersuchen zunächst, ob es zulässig ist, jeden Fehler für sich, unter Vernachlässigung des Einflusses des andern Fehlers auf den zu untersuchenden Fehler zu messen; als Resultat ergibt sich, daß selbst, wenn der eine Fehler 5° beträgt, der Wert des andern Fehlers um höchstens 0,7% gefälscht wird.

Für die Bestimmung der beiden Fundamentalfehler wird eine neue Methode angegeben, die den Vorteil hat, daß bei ihr eine genaue Justierung des Prismas nicht notwendig ist.

Das Prisma liegt mit der Hypothenusenfläche auf einer horizontalen Unterlage; von links fällt paralleles Licht auf das Prisma; die Figur zeigt den Weg eines Strahls. Die austretenden Strahlen werden dann mit Hilfe eines optischen Systems fokussiert. Läßt man nun das Prisma um eine vertikale Achse rotieren, so wird der Bildpunkt eine Kurve beschreiben; die Diskussion dieser Kurve (semikubische Parabel) ergibt eine sehr einfache Bestimmung des Winkelfehlers.

Ist außer dem Winkelfehler noch ein Pyramidenfehler vorhanden, so zeigt die Form der vom Bildpunkt während der Rotation des Prismas beschriebenen Kurve keine nennenswerte Veränderung; hingegen wird die Lage der Spitze der semikubischen Parabel eine andere; dies führt zu einer Bestimmung des Pyramidenfehlers.

Die Theorie des Verfahrens ist vollständig entwickelt; Messungen sind anscheinend nicht ausgeführt worden. *Dz.*

Ist die Unterscheidung von selbstleuchtenden und nicht selbstleuchtenden Objekten für die Auswirkungen im Abbildungsvorgang wesentlich?

Von M. Berek. *Central-Ztg. f. Opt. u. Mech.* ***45.*** *S. 143. 1924.*

Die von Abbe eingeführte Unterscheidung von selbstleuchtenden und nicht selbstleuchtenden Objekten war für die Ausbildung der Mikroskopie von entscheidendem Einfluß. Die Entwicklung der Dunkelfeldmikroskopie hat aber neue Ergebnisse gezeitigt. So zeigen Untersuchungen des Verf. folgendes:

„Die extreme Abbesche Anschauungsweise, so furchtbar sie für die Entwicklung der Mikroskopie war, ist weder bei der Hellfeldabbildung die einzig mögliche, noch in ihren die Abbildung im Dunkelfeld betreffenden Konsequenzen immer die richtige. Sie ist in ihrer Anwendbarkeit auf die Abbildung periodischer Strukturen mit hinreichend großer Wiederholung der Periode zu beschränken. Selbstleuchter und Nichtselbstleuchter sind allgemein keine sich irgendwie prinzipiell ausschließenden Gegensätze hinsichtlich der Auswirkungen im Abbildungsvorgang. Durch ihre Gegenüberstellung wird das Wesentliche der Bildentstehung im Mikroskop nicht erschöpft.“

Flügge.

Zwei neue Methoden zur Bestimmung der Oberfläche und des optischen Systems.

Von V. Ronchi. *Pisa 1923.* (Broschüre.)

Wenn man in den Strahlengang eines konvergenten monochromatischen Lichtbüschels ein Gitter stellt, senkrecht zur optischen Achse des Strahlenbüschels, so erhält man auf einem Schirm jenseits des Konvergenzpunktes ein System von hellen und dunklen Streifen, die vom Standpunkte der geometrischen Optik betrachtet nichts anderes sind als Projektionen der Gitterstriche. Als Gitter wählt Verf. entweder ein geradliniges, d. h. ein ebenes System geradliniger paralleler äquidistanter Striche, oder ein kreisförmiges, das von einem System konzentrisch kreisförmiger und äquidistanter Striche gebildet wird. Im Falle eines ideal punktförmig abbildenden optischen Systems sind auch die Streifen auf dem Auffangschirm parallel und äquidistant. Wenn aber das optische System sphärische Abweichungen besitzt, so ist von Äquidistanz und Parallelität durchaus nicht mehr die Rede; was dadurch einleuchtet, daß nunmehr das Projektionszentrum, d. i. der Bildpunkt auf der Achse, für jede Zone ein anderes ist. Aus der Form der Streifen läßt sich durch eine einfache geometrische Beziehung auf die Größe der sphärischen Abweichung schließen. Auch die chromatischen Abweichungen lassen sich in ähnlicher Weise ermitteln. Verf. probt seine Methode an einigen Objektiven und einem sphärischen Hohlspiegel aus, u. a. an einem Aplanat Zeiss und einem Projektionsobjektiv Ernemann. Das Gitter enthält zehn Striche pro mm. Offenbar wächst die Empfindlichkeit der Methode mit der Dichte der Striche, aber dem ist eine Grenze gesetzt dadurch, daß schließlich störende Überlagerungen auftreten.

Eine weitere Methode benutzt zwei Gitter, bzw. ein Gitter und das Bild desselben. Die Streifen auf dem Schirm kommen in diesem Fall durch Übereinanderlagerung der Streifen jedes der Gitter zustande. Aus der Strichbreite der als völlig gleich vorausgesetzten Gitter, aus der Streifenbreite auf dem Schirm und aus dem gegenseitigen Abstand der Gitter kann der Korrektionszustand von Spiegeln und Linsen quantitativ berechnet werden. Diese Gittermethoden gestatten es auch, z. B. Planflächen auf Krümmungen hin zu untersuchen.

Flügge.

Zur Vorgeschichte der Abbeschen Theorie der mikroskopischen Wahrnehmung.

Von H. Boegehold. *Central-Ztg. f. Opt. u. Mech.* **45.** *S. 141. 1924.*

Bis zum Jahre 1823 glaubte man allgemein, daß die Leistungsfähigkeit des Mikroskops beliebig weit gesteigert werden könne, wofern nur die Mängel in der Beleuchtung, wie man annahm, beseitigt würden. Dieser irrigen Meinung ist in eben jenem Jahre Fraunhofer entgegengetreten mit der Lehre, daß für die Wahrnehmbarkeit das Verhältnis der Objektstruktur zur Wellenlänge des benutzten Lichts maßgebend sei. Er verlegte die Sichtbarkeitsgrenze dahin, wo die Größe des Objekts mit der Wellenlänge übereinstimmt. Versuche, die Fraunhofer anstellte, scheiterten jedoch an der Unvollkommenheit der Mikroskope, die nicht einmal Linienabstände vom Betrage 3,311 μ auflösen konnten. Daher haben Fraunhofers Ansichten, wenn auch Aufsehen, so doch Zweifel erregt, wie z. B. bei J. F. W. Herschel. In den zwanziger und dreißiger Jahren erfuhren Objektive und Gitter wesentliche Verbesserungen, letztere durch F. A. Nobert. Außerdem wurde die Apertur als wichtig erkannt. 1846 konnte Nobert ein Gitter mit der Strichbreite 658 $\mu\mu$ auflösen, nicht aber mehr ein solches mit 564 $\mu\mu$. Auch die Benutzung kurzwelligen Lichts scheiterte an der Lichtschwäche. Die Einführung der schiefen Beleuchtung brachte es bald hernach auf 452 $\mu\mu$. Die Nobertschen Gitter waren in der Folgezeit bahnbrechend. An ihnen erkannte man die Bedeutung der Wasserimmersion und der Benutzung violetten bzw. ultravioletten Lichts und kam weit über die Grenzen hinaus, wie sie von Fraunhofer angegeben waren. Der günstige Einfluß größerer Apertur fand zahlreiche sehr verschiedenartige Erklärungen. J. J. Lister gab eine Erklärung, die, wenn auch nur lückenhaft, den Kern der Tatsache ans Licht zog. Er schloß, daß die Sehne der Öffnung, also sin u, maßgebend sei. So weit war die Theorie des Mikroskops vor Abbe entwickelt.

Flügge.

Zur Theorie der Spiegelkondensoren für Dunkelfeldbeleuchtung und Ultramikroskopie. Vervollkommnungen bisheriger Einrichtungen.

Von M. Berek. *Zeitschr. f. wissensch. Mikroskopie* ***40.*** *S. 225. 1923.*

Die Spiegelkondensoren verwenden zur Beleuchtung des Objekts einen kontinuierlichen Aperturbereich vom Öffnungswinkel $\alpha_2 - \alpha_1$ und zur Beobachtung einen solchen vom Öffnungswinkel α_0, wobei α_0 kleiner ist als α_1. Man nennt $A_2 = n \cdot \sin \alpha_2$ die obere Grenzapertur, $A_1 = n \cdot \sin \alpha_1$ die untere Grenzapertur des Kondensors und $A_0 = n \cdot \sin \alpha_0$ die numerische Apertur des Beobachtungsobjektivs. Die Differenz $\Delta = A_1 - A_0$ heißt „toter Aperturbereich“, weil er weder der Beobachtung noch der Beleuchtung dient und lediglich Verlust an Helligkeit und Auflösungsvermögen bedeutet. Die Größe des toten Aperturbereichs hängt von zwei Argumenten ab: von der Größe des objektiven Sehfeldes sowie von den Lagen der Austrittspupille des Spiegelkondensors und der Eintrittspupille des Mikroskops; und zwar in der Weise, daß mit Verkleinerung des objektiven Sehfeldes der tote Aperturbereich kleiner wird und daß er verschwindet, wenn die beiden Pupillen zusammenfallen. Dieses letztere ist somit von Bedeutung auch für die Dunkelfeld- und Ultramikroskopie. Auf Grund dieser theoretischen Erwägungen hat Verf. eine Einrichtung konstruiert, mit welcher der tote Aperturbereich durch Zusammenfallen der Pupillen bis auf 0,02 reduziert wird. Der theoretische Wert 0 kann nicht erreicht werden wegen des Astigmatismus und der mangelnden Aplanasie der Pupillen. Die an dieser Einrichtung gemachten Erfahrungen sind von besonderer Bedeutung für die Herabsetzung des toten Aperturbereichs in der Praxis. Der tote Aperturbereich läßt sich nämlich ganz bedeutend vermindern, wenn im Kondensor eine hinreichend gut definierte und möglichst günstig gelegene Pupille gewählt wird. Diese Bedingung erfüllten aber die bisher gebräuchlichen stark vignettierenden Blenden keineswegs. Der tote Aperturbereich läßt sich noch weiter herabsetzen, wenn für eine möglichst gut konjugierte Pupillenlage des Objektivs zu derjenigen des Kondensors Sorge getragen wird. Der Mehrgewinn an nutzbarer Apertur bedeutet Erhöhung der Helligkeit oder des Auflösungsvermögens.

Wie sind nun die Grenzaperturen möglichst rationell zu gestalten? Die obere Grenzapertur ist im besten Fall gleich dem Brechungsindex des Einbettungsmediums, also ca. 1,33 (Wasser). Dann darf aber der Kondensor nicht für eine höhere Apertur korrigiert sein, weil sonst die sphärischen Aberrationen die Güte des Kontrasts wieder herabsetzen. Die optimale Größe der unteren Grenzapertur ist schon verschiedentlich diskutiert worden, aber nie unter Berücksichtigung der Beugungsaberrationen des abbildenden Objektivs, was jedoch von wesentlicher Bedeutung ist. Verf. trägt dem Rechnung und findet als besten Wert der unteren Grenzapertur

$$A_1 = \frac{\Delta}{6} + A_2 \sqrt{\frac{2}{3}}.$$

Hinsichtlich der Bildhelligkeit spielt aber die untere Grenzapertur keine so große Rolle, sondern viel wesentlicher ist in dieser Beziehung der tote Aperturbereich. Unter diesem Gesichtspunkt und mit Rücksicht auf besten Kontrast und hohes Auflösungsvermögen berechnet Verf. als rationellsten Wert für die untere Grenzapertur 1,2 oder einen sogar noch etwas höheren Wert.

Von weiterer Bedeutung für Vervollkommnungen der bisherigen Hilfsmittel zu Zwecken der Dunkelfeld- und Ultramikroskopie ist ein günstiger Korrektionszustand der Spiegelkondensoren. Alle bisherigen Kondensoren sind nur für den Fall untersucht, daß der hintere Brennpunkt des Kondensors in einem Medium liegt, dessen Brechungsindex gleich dem des Glases ist. In der Praxis ist dieses Medium aber meistens Wasser. Infolgedessen zeigen alle Spiegelkondensoren einen gut korrigierten Verlauf der Schnittweiten in Glas, dafür aber einen höchst mangelhaften in wässerigen Lösungen. Verf. legt dar, daß die Verwirklichung der geforderten Korrektionsverhältnisse mit einem dem Typus des Jentzschen Kondensors äußerlich ähnlichen bisphärischen, aber nicht mehr konzentrischen Kondensor gelingt, der in fabrikationstechnischer Beziehung dieselben Vorteile hat wie der konzentrische. Die praktische Verwirklichung dieser Forderungen stellt der neue bizentrische Spiegelkondensor und das neue dazugehörige Spezialobjektiv der Fa. Leitz dar.

Flügge.

I. Analytische Entwicklungen zur Frage rationeller Beleuchtungsanordnungen für Mikrophotographie und Mikroprojektion.

II. Bericht über einen neuen mikrophotographischen Apparat der Optischen Werke E. Leitz.

Von M. Berek. *Zeitschr. f. wissensch. Mikroskopie* ***40.*** *S. 241. 1923.*

I. Eine einwandfreie Beleuchtungsanordnung für Mikrophotographie und Mikroprojektion ergibt sich nur als Lösung des allgemeinen Beleuchtungsprinzips, das so lautet:

1. „Bedingung für gleichmäßige Beleuchtung: Das vom gesamten Beleuchtungssystem entworfene Bild der Lichtquelle muß in die Eintrittspupille des Beobachtungssystems fallen, und gleichzeitig muß die Austrittspupille des Beleuchtungssystems in der Präparatebene liegen.

2. Bedingung für die Beleuchtung eines Objektfeldes gegebener Größe: Das objektive Sehfeld des Beobachtungssystems bestimmt das erforderliche Mindestmaß für die Größe der Austrittspupille des Beleuchtungssystems.

3. Bedingung für höchste Lichtstärke: Die objektseitige numerische Apertur des Beobachtungssystems bestimmt das Mindestmaß für den Bildwinkel, unter dem das Lichtquellenbild von der Austrittspupille des Beleuchtungssystems aus zu erscheinen hat."

Diese drei Bedingungen setzen gewisse Maßstabsbeziehungen und Anforderungen an den Korrektionszustand des Beleuchtungssystems voraus.

Was nun zunächst die Maßstabsbeziehungen anbetrifft, so sind für ein zweigliedriges Beleuchtungssystem drei Bedingungen zu erfüllen: 1. Die im Sinusmaß gemessene Aufnahmeapertur des Objektivs im Beleuchtungssystem muß einen gewissen Mindestwert $\bar{a}$ haben, der gegeben ist durch die Beziehung

$$\bar{a} \geqq \frac{(G\,A)_{\max}}{L},$$

wo G die Größe des objektiven Sehfeldes im Beobachtungssystem, A die objektseitige num. Apertur des Beobachtungssystems und L die wahre Größe der Lichtquelle bedeuten. — 2. Bei gegebenem L und $\bar{a}$ muß die Brennweite f des gesamten Beleuchtungssystems zwischen zwei Grenzen eingeschlossen sein gemäß der Beziehung:

$$\frac{L}{2\,A} \geqq f \geqq \frac{G}{2\,\bar{a}}.$$

3. Die Stellung der Lichtquelle zum Beleuchtungssystem muß eine bestimmte sein, und zwar muß ihr Abstand x vom vorderen Brennpunkt des Beleuchtungssystems vom Betrage

$$x = \frac{f^2}{P}$$

sein, wenn unter P der Abstand der Eintrittspupille des Beobachtungssystems von der Präparatebene verstanden wird.

Verf. zeigt nun, daß die Benutzung einer Objektivserie mit verschiedenen Werten der Teilvergrößerung im Mikroskop, unter Voraussetzung minimalst zulässiger Apertur des Beleuchtungssystems eine recht bedeutende Anzahl Brennweiten für das Beleuchtungssystem erfordert. Jedoch läßt sich diese Anzahl der erforderlichen Brennweiten herabsetzen, wenn man die Apertur des Beleuchtungssystems größer wählt als gerade notwendig. Der Vergrößerung der Öffnung des Beleuchtungssystems über den minimal erforderlichen Wert hinaus ist andererseits eine rationelle Grenze gesetzt, die schon bei etwa 10%iger Erhöhung der Apertur erreicht wird. Die nun noch nötigen Veränderungen der jeweiligen Brennweite ließen sich am einfachsten dadurch erzielen, daß man das optische Intervall zwischen den Teilgliedern des zweiteiligen Beleuchtungssystems variiert. Doch geht aus den Beispielen, die Verf. gibt, hervor, daß der Übergang von starken Mikroskopobjektiven zu schwachen eine mehr als zehnfache Verkleinerung des Intervalls erfordert. Eine derartige Verkleinerung ist aber sehr nachteilig, insofern als das Objektiv des Beleuchtungssystems einen unangenehm großen Durchmesser haben müßte, um ihm die notwendige Apertur zu geben;

ferner wird der Abstand des Kondensors vom Präparat so groß, daß der übliche Mikroskopkondensor durch starke Vignettierung für die verhältnismäßig großen objektiven Sehfelder der schwachen Mikroskopvergrößerungen nicht mehr zu gebrauchen ist. Um diese Nachteile zu beheben sind außer der Veränderung des optischen Intervalls noch ein oder zwei Kondensorwechsel vorzunehmen. Bei dem zweigliedrigen Beleuchtungssystem ist die Lage der Lichtquelle im allgemeinen nicht fix. Soll sie aber dauernd eine feste Lage gegen den ihr benachbarten Teil des Beleuchtungssystems und gegen das Präparat haben, so sind außer den drei obigen Maßstabsbeziehungen noch drei Bedingungsgleichungen zu erfüllen. Dies kann geschehen durch Einführung neuer Variationselemente, und zwar dadurch, daß das Objektiv des Beleuchtungssystems in zwei Elemente von bestimmten Brennweiten und bestimmtem gegenseitigen Abstand zerlegt wird. Dies führt zum dreigliedrigen Beleuchtungssystem. Die Zerlegung geschieht am rationellsten, wenn man das Objektiv aus einem positiven und einem negativen Bestandteil zusammensetzt nach Art der Teleobjektive. Durch die Vornahme dieser Drei-Teilung ist die Anzahl der Kondensorwechsel für die ganze Serie der Mikroobjektive wesentlich herabgesetzt und beträgt im Falle der vom Verf. angeführten Objektivserie nur noch zwei.

Die Erfüllung des allgemeinen Beleuchtungsprinzips stellt nun noch gewisse Anforderungen an den Korrektionszustand des Beleuchtungssystems. Diese sind um so zwingender, je kleiner die Lichtquelle ist und je mehr zur Regelung der Beleuchtung Blenden verwandt werden. Praktisch läßt sich bloß die als Eintrittspupille für das Beleuchtungssystem wirkende Blende im Präparat sowie die Lichtquelle in der Eintrittspupille des Beobachtungsmikroskops aberrationsfrei abbilden. Bei den starken Objektiven liegt dabei der Hauptwert auf dem Korrektionszustand des Kondensors, bei den schwächeren Systemen dagegen kommt der Gesamtkorrektionszustand des Beleuchtungssystems in Frage. Das vom Verf. im vorigen behandelte Beleuchtungssystem neuer Art liefert auch in bezug auf die Anforderungen an den Korrektionszustand die beste Lösung, da der darin enthaltene negative Bestandteil günstige Vorbedingungen für die Herbeiführung sphärischer und chromatischer Korrektion bietet.

II. Dieses Beleuchtungssystem mit dem neuen Kollimator variabler Brennweite kommt in dem neuen mikrophotographischen Apparat von Leitz zur Verwendung. Dieser Apparat zeigt im wesentlichen folgende Einrichtungen: Alle Teile sitzen auf einer langen Dreikantschiene, die durch Hebeldruck in eine Schwingvorrichtung gebracht werden kann, so daß sie völlig erschütterungsfrei ist. An zwei langen Gleitschienen ist eine große Kamera befestigt, die mit den Schienen in horizontale, vertikale oder beliebig schräge Lage gestellt werden kann. Die Einstellung von Präparat und Bild kann der Beobachter dauernd an der Längsseite des die optische Bank tragenden Tisches vornehmen, indem an der Stirnwand der Kamera eine seitliche Einblicksöffnung angebracht ist. Der im vorigen beschriebene Kollimator sitzt mit der als Lichtquelle dienenden Liliputbogenlampe oder Punktlichtlampe auf einem gemeinsamen Reiter. Als Mikroskopstativ kann jedes beliebige verwendet werden. *Flügge.*

Schnelle Methode zur trigonometrischen Berechnung des Lichtstrahlenganges durch ein optisches System.

Von M. G. Slussareff. *Revue d'Optique* **3.** *S. 441. 1924.*

Die einzelnen brechenden Flächen eines optischen Systems mögen mit ungeraden Zahlen 1 $3, \ldots, j, j+2, \ldots$ bezeichnet werden, desgl. die auf diese Flächen bezogenen Größen wie Radien Einfallswinkel usw. Die Zwischenmedien und die ihnen angehörenden Größen wie Brechungsexponenten, Strahlenwinkel usw. seien mit den geraden Zahlen O (für den Objektraum), 2, $4, \ldots, j-1, j+1, \ldots$ bezeichnet. Dann geschieht die trigonometrische Durchrechnung in bisher üblicher Weise nach den Formeln:

(1) $$\sin i_j = \frac{r_j - s_j}{r_j} \sin u_{j-1}$$

(2) $$\sin i'_j = \frac{n_{j-1}}{n_{j+1}} \sin i_j$$

(3) $$u_{j+1} = u_{j-1} + (i'_j - i_j)$$

(4) $$r_j - s_j' = r_j \frac{\sin i_j'}{\sin u_{j+1}}$$

(5) $$r_{j+2} - s_{j+2} = r_j - s'_j + (r_{j+2} - r_j + d_{j+1}).$$

Diese Formeln enthalten Größen, die nur der logarithmischen Rechnung dienen, selbst aber gar nicht zur Charakterisierung des Strahls in Frage kommen. Verfasser hat diese eliminiert und nur zwei unabhängige Parameter behalten: sin u und eine Funktion von sin i. Eliminiert man die Größen $(r-s)$, so behält man drei Formeln:

$$\sin i_{j+2} = \bar{C}_j \cdot \sin i_j + \bar{C}_j' \cdot \sin u_{j+1}$$

$$\sin i_{j+2}' = \frac{n_{j+1}}{n_{j+3}} \sin i_{j+2}$$

$$u_{j+3} = u_{j+1} + (i_{j+2}' - i_{j+2}) \,.$$

Die Größen $\bar{C}$ und $\bar{C}'$ sind Konstanten, die nur von den Daten des Systems abhängen:

$$\bar{C}_j = \frac{n_{j-1} r_j}{n_{j+1} r_{j+2}} \,; \qquad \bar{C}_j' = \frac{r_{j+2} - r_j + d_{j+1}}{r_{j+2}} \,.$$

Mit der Rechenmaschine läßt sich unmittelbar sin i_{j+2} ausrechnen. Dann hätten noch sechs Operationen zu folgen, bis man den Wert sin u_{j+3} hat, um nun wieder mit der Rechenmaschine rechnen zu können. Hätte man eine Tafel, die $i'-i$ als Funktion von sin i und $\frac{n_{-1}}{n_{+1}}$ gibt, so wären die vier ersten Operationen durch eine einzige ersetzt. Eine solche Tafel würde aber einen riesigen Umfang annehmen, da die Differenz $i'-i$ schnell mit sin i und $\frac{n_{-1}}{n_{+1}}$ anwächst. Um dies zu vermeiden, trotzdem aber die bequeme Maschinenformel beizubehalten, ersetzt Verfasser sin i durch eine neue Variable:

$$\sigma = \left(\frac{n_{-1}}{n_{+1}} - 1\right) \sin i = \sin i' - \sin i \,.$$

Dann hat man:

$$\sigma_{j+2} = C_j \sigma_j + C_j' \sin u_{j+1} \,,$$

wo

$$C_j = \frac{n_{j+1} - n_{j+3}}{n_{j-1} - n_{j+1}} \frac{n_{j+1}}{n_{j+3}} \frac{r_j}{r_{j+2}} \,; \qquad C_j' = \frac{r_{j+2} - r_j + d_{j+1}}{r_{j+2}} \left(\frac{n_{j+1}}{n_{j+3}} - 1\right) .$$

Eine einfache Reihenentwicklung von $i'-i$ nach Potenzen von σ zeigt, daß die Einführung von σ den Einfluß von $\frac{n_{-1}}{n_{+1}}$ weniger merkbar macht, wenn man sich auf Termen dritter Ordnung dieses Verhältnisses beschränkt. Im Falle kleiner Winkel ist der Wert von σ sehr nahe gleich $i'-i$, im Falle der paraxialen Strahlen genau gleich $i'-i$. Nun ist eine unmittelbare Auffindung der Differenz $i'-i$ sehr einfach und hinreichend genau möglich. Man fertigt sich ein für allemal eine graphische Darstellung an, indem man als Abszissen die Werte $i'-i$ in Radianen ausgedrückt aufträgt, als Ordinaten die Funktionen $\left[\left(\frac{n_{-1}}{n_{+1}}\right)^3 - 1\right] : \left(\frac{n_{-1}}{n_{+1}} - 1\right)^3$, bezeichnet nach Werten von $\frac{n_{-1}}{n_{+1}}$. In dieses Koordinatensystem trägt man Kurven konstanter Werte von σ in genügender Dichte ein. Diese Iso-σ-Kurven sind bei Beschränkung auf Termen dritter Ordnung gerade Linien mit um so größerer Neigung, je größer σ ist.

Die ganze trigonometrische Durchrechnung läßt sich nun graphisch sehr schnell und recht genau ausführen. Man fertigt sich noch einen Stab an, der nach u geteilt ist, und zwar in gleichem Maßstab wie die $(i'-i)$-Teilung. Die Benennung dieser Skala geschieht aber nach Werten von sin u. Die Rechnung verläuft dann folgendermaßen: Die Konstanten C und C' sind für alle Flächen bekannt; ferner sei für die Fläche j die Größe σ_j schon berechnet, ebenso für das vorher gehende Medium der Werte von sin u_{j-1}. Man stellt nun die Strichmarke eines Läufers auf dem Stab auf sin u_{j-1}, legt dann den Stab mit seinem oberen Rand auf den Iso-σ-Plan in die Höhe von $\frac{n_{j-1}}{n_{j+1}}$ derart, daß der Läufer auf der Kurve $\sigma = 0$ steht. Nun schiebt man den Läufer auf den Wert σ_j, dann zeigt er auf der Teilung des Rechenstabes den Wert sin u_{j+1}. Schließlich berechnet man σ_{j+2} mit der Rechenmaschine nach der Formel

$$\sigma_{j+2} = C_j \sigma_j + C_j' \sin u_{j+1} \,.$$

Auf diese Weise rechnet man von Fläche zu Fläche durch. Die ganze Durchrechnung

besteht also in graphischem und maschinellem Rechnen. Die Geschwindigkeit der neuen Rechenmethode beträgt 20 bis 30 Sek. pro Fläche.

Die graphischen Darstellungen müssen mit großer Sorgfalt angefertigt werden. Diese Arbeit ist aber nur einmal zu machen und dann für alle Zwecke verwendbar. Die Genauigkeit kann bis auf 6 Dezimalen gebracht werden, in den meisten Fällen genügen aber schon 4 oder 5 Dezimalen. *Flügge.*

Ein neuer Autokollimator.

Von F. E. Wright. *Journ. of the Opt. Soc. of Am.* **9.** *S. 187. 1924.*

Die Vorzüge der Ablesefernrohre mit Autokollimation sind bekannt. Mit großer Genauigkeit und Lichtstärke verbinden sich einfachste Handhabung und Verwendbarkeit des Instruments auch dicht am Spiegel des abzulesenden Apparates, ohne daß die Genauigkeit leidet. Die älteren Ablesefernrohre mit außerhalb liegender Skala benötigen dagegen, um die gleiche Genauigkeit (z. B. des Goerz'schen Autokollimationsfernrohres) zu erreichen, Skalenabstände von mindestens 3—4 m.

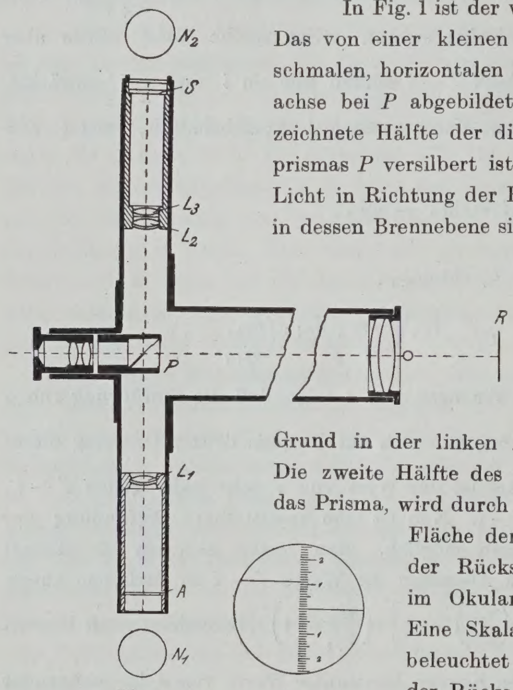


Fig. 1. Fig. 2.

In Fig. 1 ist der vom Verf. beschriebene Autokollimator abgebildet. Das von einer kleinen Glühlampe N_1 kommende Licht fällt auf einen schmalen, horizontalen Spalt A, der durch die Linse L_1 in der Fernrohrachse bei P abgebildet wird. Da die linke, in der Figur stärker gezeichnete Hälfte der diagonalen Fläche des zusammengekitteten Doppelprismas P versilbert ist, wird das auf diesen Teil der Fläche auffallende Licht in Richtung der Fernrohrachse reflektiert und verläßt das Objektiv, in dessen Brennebene sich das Prisma befindet, als paralleles Lichtbündel. Von der spiegelnden Fläche R, deren Drehwinkel bestimmt werden soll, durch das Objektiv in das Fernrohr zurückgeworfen, entsteht in der senkrechten Ebene durch die Achse der Linsen $L_1 L_2$ ein Bild des Spaltes, das im Okular als helle horizontale Linie auf dunklem Grund in der linken Hälfte des Gesichtsfeldes gesehen wird (Fig. 2). Die zweite Hälfte des von N_1 kommenden Strahlenbündels durchsetzt das Prisma, wird durch L_2 parallel gemacht, und von der planen vorderen Fläche der Linse L_3 z. T. reflektiert. L_2 erzeugt dann auf der Rückseite der versilberten Fläche ein Spaltbild, das im Okular als feststehende horizontale Linie erscheint. Eine Skala S, die durch eine zweite elektrische Lampe N_2 beleuchtet ist, wird durch die Linsen $L_2 L_3$ gleichfalls auf der Rückseite der versilberten Fläche von P abgebildet, wo sie durch das Okular zusammen mit der feststehenden Linie in der rechten Hälfte gesehen wird (Fig. 2). Die Trennungslinie beider Bildhälften ist scharf, so daß die Drehung des Spiegels R aus dem Abstand der beweglichen Linie von der feststehenden in Skalenteilen und unter Berücksichtigung der Brennweite des Objektives zuverlässig berechnet werden kann.

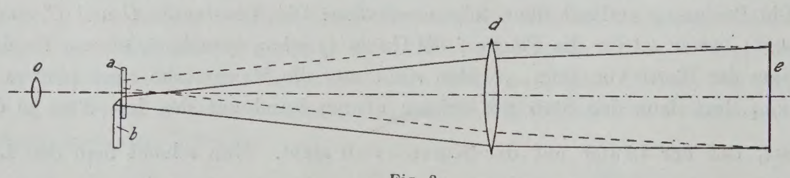


Fig. 3.

Als besonderer Vorzug dieser Konstruktion wird hervorgehoben, daß bei erreichter Autokollimation die beiden Striche sich nicht überdecken, sondern an der Trennungslinie der Bildhälften nur berühren, wodurch eine wesentlich größere Ablesungsgenauigkeit erreicht wird. Demgegenüber

muß festgestellt werden, daß bereits vor Jahren von der Optischen Anstalt C. P. Goerz, A.-G. in Berlin-Friedenau, ein Autokollimationsfernrohr herausgebracht wurde, welches das gleiche Beobachtungsverfahren verwendet und sich bei zahlreichen Untersuchungen des Ref. als sehr brauchbar erwiesen hat. Es besitzt überdies den Vorteil einer wesentlich einfacheren Bauart, wie Fig. 3 erkennen läßt.

Der Strahlengang im Innern des Instrumentes ist folgender. Eine Glasscheibe *a* (Fig. 3 und 4) ist mit Skala und einem Indexstrich versehen. Der Teil der Scheibe, welcher den Indexstrich trägt, wird durch den Prismenstreifen *b* verdeckt und mit Hilfe dieses Streifens von der Lampe *c* beleuchtet. Das aus diesem Teil austretende Licht wird durch das Objektiv *d* parallel gerichtet, da die Markenplatte in der Brennebene des Objektives liegt. Trifft es auf einen Spiegel *e*, dessen Ebene parallel zur Ebene des Objektives steht, so wird es reflektiert und läuft, da die leuchtende Stelle etwas unterhalb der Mittellinie der Markenplatte liegt, in einem um einen kleinen Winkel geneigten parallelen Lichtbündel zum Objektiv zurück. Dieses entwirft nun auf der Platte, und zwar oberhalb des Prismenstreifens, also auf der Skala, ein helles Bild des beleuchteten Teiles, in dessen Mitte sich der Indexstrich dunkel abhebt. Dieses Bild wird durch das Okular *o* vergrößert betrachtet. Dreht sich der Spiegel um einen kleinen Winkel, so wandert das Bild des Index auf der Skala. *Werner.*

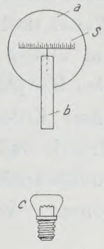
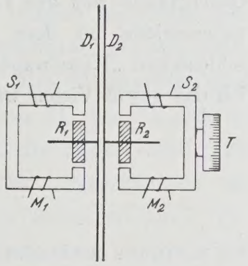


Fig. 4.

Rotierender Sektor.

Von Enoch Karrer. *Journ. opt. soc. of Am.* **8.** *S. 541. 1924.*

Zwei kleine Synchronmotoren M_1 und M_2 (s. Fig.) tragen die Sektorenscheiben D_1 und D_2. Jeder Motor trägt 4 Feldspulen S_1 S_2 und 4 Rotormagnete R_1 R_2. Motor M_2 ist drehbar gelagert und seine Drehung auf der Gradteilung T ablesbar. Die relative Lage der Sektorenöffnungen ist demnach von der Winkelverdrehung des Motors M_2 abhängig. *G.*



Bücherbesprechungen.

A. Kühl, Der Sternhimmel. Kl. 8°. 224 S. mit 4 farbigen, 8 schwarzen Tafeln und 35 Zeichnungen im Text. 6. Band der *Bücher der Naturwissenschaft.* Ph. Reclam jun., Leipzig, 1924. Geheftet 0,90, gebunden 1,50 M.

Außer einer Abbildung des Bruce-Teleskopes der Heidelberger Sternwarte enthält das Büchelchen zwar nichts auf Instrumentenkunde Bezügliches, trotzdem seien ihm wegen der engen Beziehung zwischen Astronomie und Instrumentenkunde einige empfehlende Worte gewidmet. Denn diese verdient es in der Tat wegen seines bei aller Gedrängtheit doch wissenschaftlich einwandfreien, auch die neuesten Forschungen berücksichtigenden Inhalts. Der Leser erhält einen recht guten Einblick in das Getriebe des Sonnensystems und in die gewaltige, das Sonnensystem als einen winzigen Teil in sich schließende Sternenwelt. Auf jegliche mathematische Behandlung wird verzichtet, dafür werden aber an Hand von Figuren die Beziehungen zwischen Auf- und Untergangszeit, Deklination des Sternes, geographischer Breite des Beobachters, Tageslänge, Jahreszeit usw. veranschaulicht. Die Keplerschen Gesetze werden natürlich nicht abgeleitet, sondern als Tatsachen, die sich aus dem Gravitationsgesetz ergeben, aufgeführt und erläutert. Besonders berücksichtigt sind die bei den Astronomen heute mit im Vordergrunde des Interesses stehenden stellar-statistischen Untersuchungen, welche uns allmählich einen tieferen und tieferen Einblick in den Aufbau unseres Fixsternsystems zu gewähren versprechen. Bei den z. B. noch zweifelhaften Ergebnissen der Stellarstatistik, besonders bezüglich der Nebel, unterläßt Verfasser nicht, auf die Unsicherheit der zugrunde gelegten Hypothesen und der daraus gezogenen Schlußfolgerungen hinzuweisen. Gerade aus diesem Grunde mit sind die Angaben des Büchleins als durchaus zuverlässig zu bewerten.

An einer Stelle des Büchelchens möchte Ref. eine kleine Änderung des Textes empfehlen. Wenn nämlich Verfasser auf S. 125 sagt, daß die Entfernung des 8. und 9. Jupitermondes von ihrem Planeten schon fast jene Grenze erreiche, an der die Sonnenanziehung die des Jupiter zu übertreffen beginne, so ist dazu zu bemerken, daß in den meisten Fällen, wenn die Bahnlage nicht gerade eine ganz besondere ist, der 8. und 9. Jupitermond bei ihrem Durchgang zwischen Planet und Sonne von dieser stärker angezogen werden als von jenem. Das Gleiche findet auch bei unserm Erdmond statt, der sogar stets, wenn er zwischen Sonne und Erde hindurch geht, also bei jedem Neumond, von der Sonne eine stärkere Anziehung erfährt als von der Erde. Daß unser Erdmond und jene beiden Jupitermonde ihren Planeten nicht verlassen, hat darin seinen Grund, daß ja auch der Planet nach der Sonne hin angezogen wird und nur die Differenz der Sonnenanziehungen auf Planet und Mond als eine Störung des Mondumlaufes zur Erscheinung kommt. Von den bis jetzt bekannten Monden hat übrigens kein anderer noch diese Eigenschaft.

Otto Knopf.

A. Egerer, Wie fertigt man eine Kartenskizze (Kroki)? 8°. 47 S. mit Abb. K. Wittwer, Stuttgart 1.50 M.

Der Verfasser gibt hier eine recht brauchbare gemeinverständliche Anleitung zur Herstellung einer Kartenskizze eines kleinen Geländestückes. Da nur die allereinfachsten Hilfsmittel und Geräte zur Anwendung kommen (Schrittmaß für Längenmessung, Horizontalwinkel durch Anzielen der Gegenstände mit der Linealkante auf dem Krokierbrettchen oder mit der Stockbussole, Höhenunterschiede mit dem Aneroid oder einem Freihandhöhenwinkelmesser, gelegentlich einer geschlossenen „Kanalwage"), so ist im Sinne dieser Zeitschrift wenig zu berichten. Immerhin wollte ich das gewiß Vielen willkommene Schriftchen auch hier mit einem Wort anzeigen.

Hammer.

Nachtrag

zu meinem Aufsatz: Die Brauchbarkeit von Drehwagen im Felde. *Diese Zeitschr.* ***45*** *S. 89. 1925.*

Während der Korrektur obigen Aufsatzes erschien und konnte leider nicht mehr berücksichtigt werden: D. Pekár, *Gravitációs kutatások Eötvös torziós ingájával* (*Csillagászati egyesület almanachja „Stella", 1925*). Auf *S. 209* dieser Arbeit behauptet wiederum Pekár, daß er „auf Grund der von der »Exploration« veröffentlichten Messungen zahlenmäßig habe nachweisen können daß ihr Instrument keine zuverlässigen Angaben liefert; die Deutschen hätten gegen diese Kritik heftig protestiert".

Zur Richtigstellung sei hier nochmals bemerkt, daß in der fraglichen Erwiderung (7) Herr Dipl.-Ing. Gornick, der Direktor der »Exploration«, sowie Herr Prof. Schweydar nachwiesen, daß die Kritik des Herrn Dr. Pekár gar nicht auf Ergebnissen der Registrierungen, sondern auf von Hand gezeichneten Schaubildern beruhte.

Wenn weiterhin Herr Pekár „mit Beruhigung mitteilen kann, daß der Direktor der »Exploration« u. a. selbst erwähnt hat, daß die Instrumente von Bamberg im Laboratorium vorzüglich sind, im Freien dagegen bald die eine, bald die andere Einrichtung versagt", so muß festgestellt werden, daß m. W. bisher eine derartige Veröffentlichung des Herrn Gornick nicht existiert. Soweit mir bekannt, sagt Herr Gornick in *dieser Zeitschr.* ***43.*** *S. 307. 1923* gerade das Gegenteil, nämlich „somit ist die Behauptung des Herrn Pekár, daß die Tagesbeobachtungen mit der Schweydar-Bambergschen Drehwage unzuverlässig sind, haltlos; das zeigt auch unsere praktische Erfahrung." Dr. C. Heiland.

Nachdruck verboten.

Verantwortlich für die Redaktion: Oberregierungsrat Professor Dr. F. Göpel in Charlottenburg.
Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Kuratorium:

Prof. Dr. D. h. c. H. **Krüss**, Vorsitzender, Prof. Dr. R. **Straubel**,
Prof. Dr. F. **Weidert**, geschäftsführendes Mitglied.

Schriftleitung: Oberregierungsrat Prof. Dr. F. **Göpel** in Charlottenburg-Berlin.

XLV. Jahrgang. **April 1925.** Viertes Heft.

Über Neuerungen im Bau von Laboratoriumswagen.

Von

Walter Block in Charlottenburg.

Die nachfolgenden Ausführungen beziehen sich ausschließlich auf die Formen der gleicharmigen Hebelwagen für feinere Wägungen, wie sie als analytische Wagen in Chemikerkreisen bekannt sind, und erstrecken sich nicht auf Wagen minderer Genauigkeit und auf solche Mikrowagen, die nach andern Gesichtspunkten gebaut sind.

Bei der Unzahl der Veröffentlichungen physikalischer Art, die Meßgeräte und Meßverfahren zum Gegenstand haben, ist es gerade in den letzten 10 bis 15 Jahren auffallend, in wie geringem Maße Abhandlungen über Wagen zu finden sind. Es entsteht der Eindruck, daß dieses Gebiet praktisch vollkommen abgeschlossen ist und daß wesentlich neuartige Grundsätze im Bau nicht mehr zu erwarten sind. Infolgedessen ist auch das schon vor einer langen Reihe von Jahren erschienene Buch von Felgentraeger[1]) immer mehr als durchaus wertvoll und nicht im geringsten als veraltet anzusehen. Auf dem sehr umfangreichen Gebiet der großen Wagen für die Zwecke des Handels und der Industrie, insbesondere zu vollkommen selbsttätigen Wägungen wird konstruktiv ungemein vielseitig gearbeitet, und es werden dauernd neue Formen herausgebracht, insbesondere die neuerdings eichamtlich zugelassene Form der Neigungs- und Zeigerwage mit unmittelbaren Gewichtsablesungen an einer Zeiger- oder ähnlichen Vorrichtung erfreut sich einer besonders gründlichen Behandlung von seiten aller Wagenkonstrukteure. Es erscheint nicht ausgeschlossen, daß die Erfahrungen an dieser Form auch vielleicht für die einfache Hebelwage von Bedeutung sein können.

Vorweg sei bemerkt, daß neuerdings fast ausnahmslos alle Wagen in dem Typus der kurzarmigen Wage gebaut werden, hauptsächlich mit Rücksicht auf die damit erreichbare kurze Schwingungsdauer, die eine Abkürzung der erforderlichen Wägezeit zuläßt. Damit ist natürlich der Nachteil verbunden, daß die Ansprüche an die Genauigkeit der Schneidenjustierung sehr stark wachsen. Es sei hier in diesem Zusammenhang einer Arbeit von Strömberg[2]) gedacht, der einen typischen Balken experimentell auf seine günstigste Form prüfte. Er untersucht den einfachen rhombischen Balken ganz symmetrischer Form mit einer vertikalen Versteifung und ändert den Winkel an den Endschneiden; aus seinen Versuchen folgt, daß sein Trägheitsmoment anfangs langsam, dann aber schneller mit wachsendem Winkel ansteigt. Die

---

[1]) W. Felgentraeger, Theorie, Konstruktion und Gebrauch der feineren Hebelwage. Leipzig 1902.

[2]) R. Strömberg, *Ann. d. Phys.* **47**. *S. 939. 1915.*

Schwingungsdauer einer solchen Folge von Balkenformen, auf gleiches Direktionsmoment bezogen, ändert sich in etwa gleicher Weise. Die Durchbiegung bzw. der ihr reziproke Wert, die Stabilität, hängt naturgemäß sehr stark von dem Winkel ab, und es zeigt sich deutlich, daß ein Winkel von 60^0 etwa am günstigsten ist. Hier hat die Stabilität ein Maximum, und daneben sind für diese Form Masse und Trägheitsmoment noch recht günstig. Es stellt sich dabei heraus, daß bei Beachtung dieser Vorschrift die Balken merklich leichter gemacht werden können, als es insgemein der Fall ist. Für die Stärke der Mittelstrebe ergibt sich, daß ihr Einfluß auf die Stabilität des Balkens recht gering ist, solange der Balken praktisch horizontal schwebt. Bei einer Neigung des Balkens, die er bei seinen Versuchen bis zu 10^0 nach jeder Seite wählt, findet er, daß der Balken am günstigsten arbeitet, wenn die Mittelstrebe etwa doppelt so stark ist, wie die Seiten des Rhombus. Eine weitere Verstärkung der Mittelstrebe verbessert nichts mehr. Eine horizontale Strebe ist vollkommen überflüssig, ja schädlich, da sie die zwangfreie Änderung der Form des Balkens bei Temperaturänderungen störend beeinflussen würde.

Bevor nun auf die Einzelheiten im Bau der Wagen eingegangen wird, sei erst genauer über eine Arbeit von J. J. Manley[1]) berichtet, die sehr wichtig erscheint. Er beobachtet zunächst in langen fortlaufenden Messungsreihen die Änderungen der Ruhelage einer feinen Wage, insbesondere einer kurzarmigen Bunge-Wage mit 13 cm Balkenlänge, und entwirft die Kurve der Ruhelagen, wenn er diese in der bekannten Weise aus je 3 bzw. 5 Umkehrspunkten ableitet. Er findet dabei, abgesehen natürlich von Verlagerungen systematischer Art infolge Temperatureinflüssen, daß beide Kurven unregelmäßig umeinanderlaufen, um erst nach einer Reihe von etwa 20 bis 25 Umkehrpunkten praktisch zusammenzufallen. Die Frage der günstigsten Methode zur Festlegung der Ruhelage ist ja vielfach behandelt worden, so z. B. von Greinacher[2]). Bei den Wägungen feinster Art in der Physikal.-Techn. Reichsanstalt hat sich aus der Praxis vieler Jahrzehnte herausgestellt, daß die Beobachtung von drei Umkehrpunkten, wobei die ersten drei bis vier nach Auslösung der Wage nicht abgelesen werden, praktisch auch mit Rücksicht auf die Zeitersparnis völlig ausreicht. In andern Fällen, so z. B. bei einer Wage mit Kreisbalken, trat dieses allmähliche Zusammenlaufen der Kurven, wie Manley es findet, nicht so gut hervor. Es gibt verschiedene Möglichkeiten, die diese Vorgänge erklären könnten. So könnte der Balken seitliche Bewegungen machen, indem die Mittelschneide auf ihrer Pfanne gleitet; wenn eine solche gleichförmig bei jeder Schwingung eintritt, müßte sie, wie aus theoretischen Betrachtungen folgt, die Schwingungsweite des Balkens vergrößern, was also ausscheidet; unregelmäßige Seitenbewegungen treten, wie experimentell festgestellt wird, nur in so geringfügigen Beträgen auf, daß sie für die Ruhelage bedeutunglos sind. Über den Einfluß der Biegungen ergibt sich folgendes: Durch eine geeignete Meßanordnung konnten einzelne Balken auf Durchbiegungen untersucht werden, wobei noch Biegungen von 0,0004 mm merkbar waren. Es stellte sich dabei heraus, daß alle diese praktisch momentan eintraten und zurückgingen; sofort, wenn ein Balken belastet wird, erreicht er die maximale, dieser Last entsprechende Biegung. Einseitig erwärmte Balken zeigen durchaus kein gleichartiges Verhalten der Durchbiegung auf beiden Seiten, was sehr wichtig ist und darauf hinweist, wie bedeutungsvoll die Temperaturkonstanz des Balkens bei einer Wägung ist. Bei den untersuch-

[1]) J. J. Manley, *Phil. Transact. (A),* ***210****. S. 387. 1911.*

[2]) H. Greinacher, *Zeitschr. f. physikal. u. chem. Unterr.* ***33****. S. 57. 1920.*

ten Balken verschiedener Art war die Durchbiegung einigermaßen proportional der Last. Auch Bewegungen der Schneiden im Balken sind denkbar und es ist der Versuch auch gelungen, solche tatsächlich nachzuweisen, indessen nur bei Schneidenbefestigungen, die man nicht als einwandfrei bezeichnen kann und die auch wohl bei guten Wagen nicht mehr anzutreffen sind. In verschiedenen Fällen ließ sich unzweideutig nachweisen, daß die Ruhelage an den Wagen, belasteten und unbelasteten, streng mit der Temperatur des Raumes zusammenhing; es ließ sich z. B. auch mit einer Wage von Gallenkamp für eine einfache Wägung eine Formel aufstellen

$$M = M_1 (1 + \alpha t + \beta t^2),$$

worin die α und β folgende Werte hatten (M und M_1 die beiden zu vergleichenden Massen)

Belastung	α $\times 10^{-6}$	β $\times 10^{-6}$
0 — 5 g	+ 19	+ 1,6
60 g	+ 38	—
100 g	+ 52	— 0,34
200 g	+ 124	— 13,1

Der Verfasser hat eine besondere Anordnung nach Art eines Bolometers gebaut, die im Innern des Wagenkastens angebracht wurde, und mit einer Empfindlichkeit von rund 10^{-4} Grad die Temperaturen auf beiden Seiten des Wagebalkens zu messen gestattete. Eine Mitteilung seiner Ergebnisse soll, da kein allgemeines Interesse bietend, unterbleiben. Es wurde auf Grund seiner Versuche nur zu der Erkenntnis geführt, daß ein besonderer Temperaturschutz des Balkens ungemein vorteilhaft ist. Er umschloß deswegen in dem eigentlichen Wagenkasten den Wagebalken mit einem besonderen Gehäuse aus starkem Glas, das nur die unbedingt notwendigen Öffnungen enthielt, um Gehänge, Zeiger und evtl. Reiterverschiebung durchtreten zu lassen. Das Ergebnis war sehr befriedigend: Die Temperaturänderungen im Verlauf einiger Wägungen gingen in der Nähe des Balkens auf unmerkliche Beträge zurück. Eine Einrichtung dieser Art ist z. B. in ähnlicher Form an der Mikrowage von Sartorius (vgl. weiter unten) eingeführt. Es scheint mir, daß diese Lösung nicht die günstigste ist. Noch zweckmäßiger wäre es, den ganzen Wagebalken so weit wie möglich in einen massiven Metallklotz einzuschließen, der innen so weit ausgespart ist, daß der Balken in ihm die notwendigen Bewegungen machen kann. Das Reiterlineal könnte außerhalb liegen; als Material käme nach Wärmeleitfähigkeit und spezifischer Wärme Aluminium in Frage. Es ist wohl nur eine Art Gewohnheit, daß der Standpunkt vertreten wird, daß bei der Wägung der Wagebalken dauernd für die Besichtigung zugänglich sein muß. Praktisch ist das völlig unnötig. Man muß bedenken, daß eine Wage ein Meßgerät ist, an das viel höhere Anforderungen gestellt werden, als an sonstige Meßinstrumente. Deswegen ist es auch notwendig, alle Vorsichtsmaßregeln zu treffen, um die wichtigsten Fehlerquellen zu beseitigen, soweit wie irgend möglich. Bei einer einwandfrei konstruierten Wage ist die Arretierung und die Entarretierung zuverlässig, es tritt das Auf- und Absetzen der Schneiden auf die Pfanne so sicher ein, daß der Benutzer praktisch niemals in die Lage kommt, den Balken berühren zu müssen. Deswegen ist es nicht als Fehler zu bezeichnen, wenn der Balken zum Zweck einer guten Temperaturkonstanz so vollständig eingekapselt wird, daß der Benutzer nur mit Mühe an ihn herankommt, wenn jener Zweck, was unzweifelhaft ist, damit erreicht wird. Bei einer so geschützten Wage ergab sich dann, daß die ur-

sprünglich beobachteten Unregelmäßigkeiten in der Ruhelage tatsächlich im wesentlichen Temperaturänderungen zuzuschreiben waren. Und ein Vergleich von zwei Wägungsreihen einer bestimmten Masse auf zwei verschiedenen so geschützten Wagen ergab eine ganz wesentlich höhere Übereinstimmung der Ergebnisse im Vergleich zu den Wägungen mit ungeschütztem Balken.

Es unterliegt auch keinem Zweifel, daß man bereits einen merklichen Temperaturschutz des Balkens auf dem Wege erreichen kann, wenn man das übliche Wagengehäuse mit den großen Glasfenstern durch eine horizontale Scheidewand etwa in mittlerer Höhe teilt, so daß die Schalen noch vollkommen frei zugänglich sind, und wenn man die Öffnungsmöglichkeiten des Gehäuses so beschränkt, daß die Kammer, die den Balken enthält, bei den Wägungen nicht geöffnet zu werden braucht. Eine Öffnung des Gehäuses durch seitliche Türen an Stelle der häufig vorhandenen Vordertüren dürfte auch vorteilhaft sein, ohne unpraktisch zu wirken.

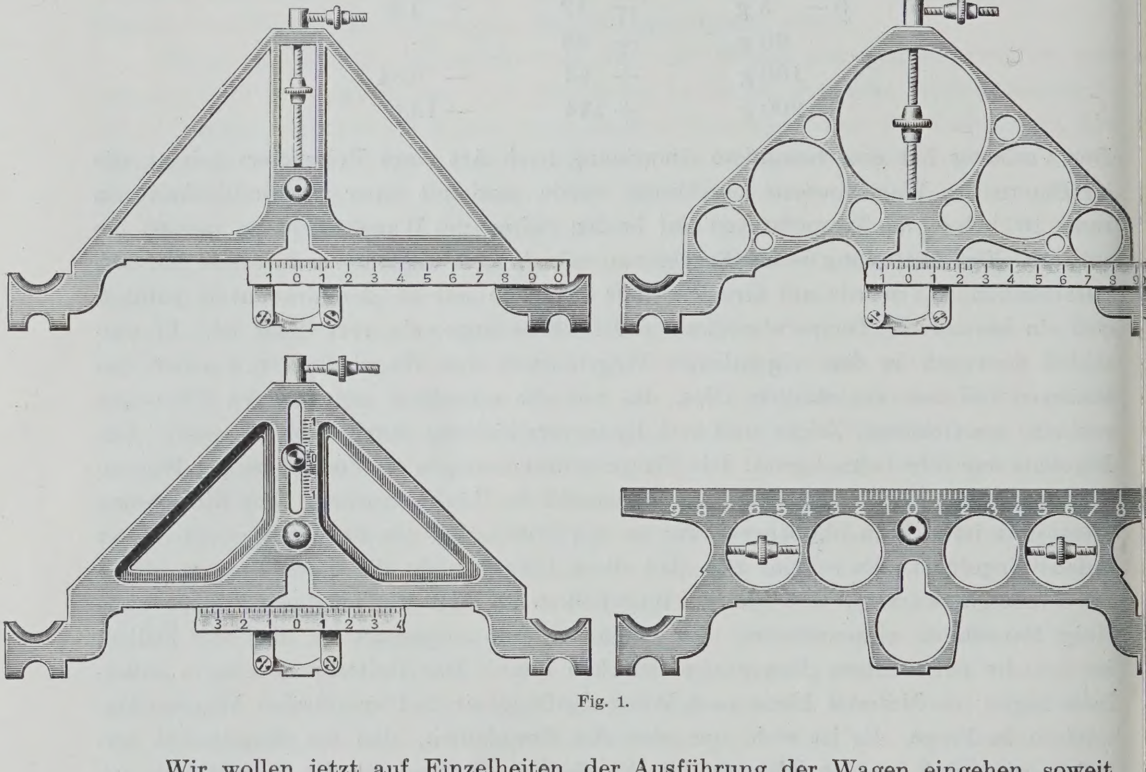


Fig. 1.

Wir wollen jetzt auf Einzelheiten der Ausführung der Wagen eingehen, soweit sie neueren Ursprungs sind. Zur richtigen Beurteilung aller Konstruktionen ist zu beachten, daß sie alle fast ohne Ausnahme für die Zwecke des Chemikers bestimmt sind, und demnach auf dauernden Gebrauch der Wage bei größter Bequemlichkeit des Arbeitens evtl. sogar unter Einbuße von Genauigkeit eingerichtet sind. Diese Gesichtspunkte haben z. B. zur Folge, daß fast alle Wagen mit Reiter und Reiterlineal ausgerüstet sind, eine Einrichtung, die an Wagen für Physiker, die Wägungen höchster Genauigkeit machen wollen, kaum in Frage kommt.

Als Balkenform (Fig. 1) ist fast ohne Ausnahme ein verhältnismäßig kurzer Balken im Gebrauch, der bisweilen mit dem Reiterlineal aus einem Stück gearbeitet ist in der Weise, daß die Reiterbahn die obere Begrenzung des Balkens bildet, oder es wird der versteifte hohe Dreiecksbalken angewendet, aus mehreren Stücken zu-

sammengesetzt oder aus dem Vollen gearbeitet. Die Abbildung gibt eine Reihe normaler Balkenformen der Sartorius-Werke. Eine interessante Form verwenden neuerdings die Sartorius-Werke, wobei der Balken in der gewöhnlichen Form aus dem Vollen ausgeschnitten wird, in einer üblichen Gestalt, und dann zur Erleichterung des Balkens durch Bohren Löcher in ihn eingearbeitet werden, was bequemer ausführbar ist als das Einarbeiten geradlinig begrenzter Öffnungen.

Der vielfach unternommene Versuch, die Schneiden in den Balken fest einzusetzen und die weitere Justierung der Schneidenlage durch Schleifen an den Schneiden auszuführen, ein Arbeitsgang, der z. B. von Hasemann an seinen Wagen ausgeführt wurde und sehr gute Erfolge hatte, da bei gutem Sitz der Schneide jede spätere Verlagerung ausgeschlossen war, ist heute anscheinend völlig verlassen worden. Die Schneiden sind justierbar eingesetzt und können in ihren Stellungen auch später beliebig abgeändert werden. Das hat zur Folge, daß der Balken mit einer Reihe von Schrauben und Hilfsstücken versehen ist, die seine Form verwickelter machen, die verstärkte Möglichkeit von Verschmutzung und Staubablagerung bieten und seine Masse erhöhen. Zwei Schneidenjustiereinrichtungen seien hier als Beispiel genauer beschrieben. Die Firma Sauter-Ebingen (Fig. 2) lagert die Endschneiden z^2 in einem geschlossenen Sattel. Sie sind mit den vier Schrauben d^3 in der Horizontalen beliebig verstellbar und können in ihren Abständen von der Mittelschneide und in ihrer Parallelität eingestellt werden. Die Höhenverstellung besorgt der Keil *K*, der durch die Schraube *D* bewegt und gehalten wird und dessen Winkel so bemessen ist, daß er den Reibungswinkel zwischen den beiden Metallen für Balken und Keil nicht übersteigt, so daß die Schraube *D* nicht weiter beansprucht wird.

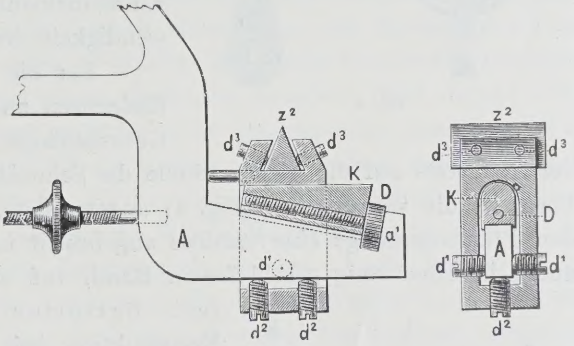


Fig. 2.

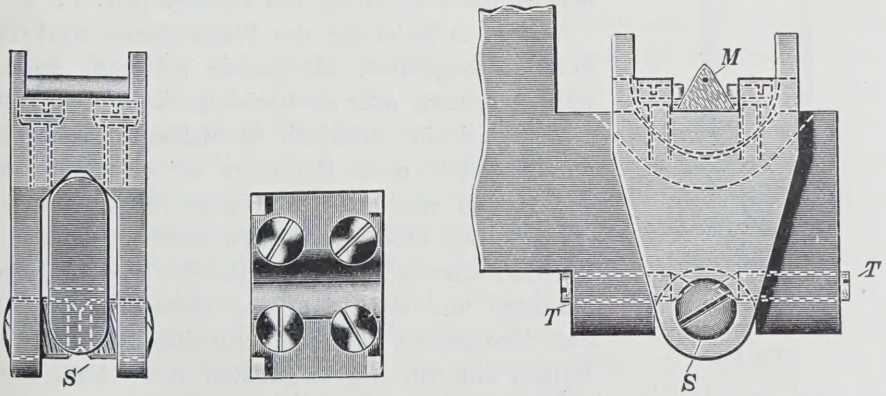


Fig. 3.

Gleichzeitiges Drehen der Schrauben *d'* bewirkt eine Drehung der Schneide in einer Vertikalebene, während die Schrauben d^2 als Halteschrauben für das ganze System dienen. Die Mittelschneide wird ohne weitere Justierung in den Balken eingekeilt. Sartorius (Fig. 3) setzt die Endschneide auf ein ∩-förmiges Stück auf, wo sie durch vier

Kopfschrauben fest angepreßt wird. Durch wechselseitiges Lösen und Anziehen dieser Schrauben kann man die Schneide in einer Horizontalebene verschieben und so der Mittelachse parallel stellen. Der untere Teil des Achsenhalters sowie der entsprechende Teil des Balkens sind kreisbogenförmig ausgearbeitet, so daß beide sich nur punktförmig berühren. Durch Betätigung der Schrauben S und T kann man die Korrektion des Schneidenabstandes und eine Kippbewegung der Schneide erzielen. Eine Höhenkorrektion ist nicht möglich und muß vielmehr durch Verstellung der Mittelschneide vorgenommen werden, die demnach nicht fest in den Balken eingepreßt sein darf. Der Mittelpunkt M der Drehbewegung der Endschneide durch Betätigung der Schrauben T macht die Verstellung der Schneide zum Einstellen der Hebellängen sehr empfindlich, da die Bewegung der Triebschrauben T im Verhältnis von 1 : 20 etwa verkleinert wird. Die beim Vergleich beider Einrichtungen merkbare Vereinfachung der Endschneidenbefestigung wird dabei durch die Notwendigkeit der Höhenjustierung wieder aufgehoben.

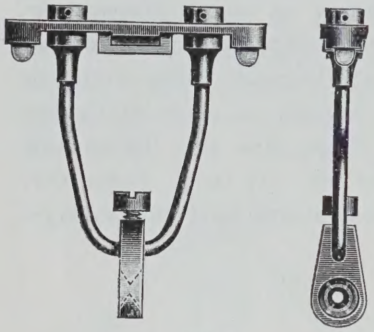


Fig. 4.

Für die Verbindung der Lastschalen mit den Endachsen und Pfannen dient stets ein sogenanntes Kreuzgehänge, mit dem Zweck, den Angriffspunkt der Last stets auf die gleiche Stelle der Schneide zu übertragen. Wohl die einfachste Form ist die von Bunge (Fig. 4) angewendete, indem senkrecht zur Schneide an dem Pfannengehänge eine Stahlöse angebracht ist, mit einer Bohrung mit gehärtetem und schneidenförmig geschliffenem Rand, auf dem der Stahlhaken des Schalenbügels ruht. Sartorius ersetzt diese Schneide durch eine Konstruktion, bei der ein völlig geschlossener Bügel in der Ebene der Endschneide durch zwei kleine Schrauben getragen wird, um deren Spitzen er schwingen kann und die mit diesen in Körnerpunkten fest gelagert sind, die etwa in der Höhe der Endpfanne liegen. Ähnlich ist die Anordnung von Sauter (Fig. 5).

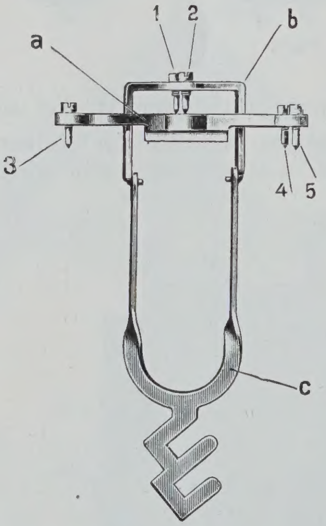


Fig. 5.

Die Arretierung des Wagebalkens wird in zwei Formen ausgeführt, als gerade geführte, konstruktiv wohl einfachere, oder als Kreisbogenarretierung. Bei der ersten wird eine unterhalb des Balkens gelagerte Brücke durch Drehen eines Exzenters so weit gehoben, daß der Balken von der Mittelpfanne entfernt und Endschneide und Pfannen getrennt werden. Bei der Kreisbogenarretierung ist diese Brücke in der Mitte zerschnitten und dort sind zwei Gelenke vorgesehen, so daß ihre Enden im Kreisbogen sich bewegen und den Balken mit den Angriffspunkten in der Nähe der Endschneiden hochheben und danach auch noch die Endpfannen von den Schneiden entfernen. Welche der beiden Formen die überlegene ist, ist kaum möglich zu entscheiden. Zu erwähnen ist dabei noch, daß Sartorius besonders darauf hinweist, daß durch die Anwendung des Exzenters auf die in der Tragsäule der Wage untergebrachte Hubstange starke seitliche Kräfte ausgeübt werden, die leicht eine Lockerung ihrer Führung bewirken können und damit Unsicherheiten im Aufheben und

Absetzen des Balkens und der Gehänge. Diese Firma führt deswegen die Hubstange zweiteilig aus.

Das Reiterlineal und die Reiterverschiebung, ohne die eine neuere feinere Wage kaum noch denkbar ist, sind leider noch ein wenig Schmerzenskinder der Wagenkonstrukteure. Das Reiterlineal macht den Balken besonders einer Wage geringer Tragkraft unverhältnismäßig schwer, und die Reiterverschiebung arbeitet nicht immer so einwandfrei, daß es nicht noch häufig vorkommt, daß der Reiter abfällt oder zerbrochen wird, oder daß er sich nicht genau in die Kerben des Lineals einsetzt. Hauptsächlich das Abfallen wird gefürchtet, und eine ganze Reihe von ziemlich schwierigen Konstruktionen sind ausgeführt, um dies zu verhindern. Sartorius z. B. zieht den Reiter in einen etwa trichterförmigen Hohlkörper herein, der den abgehobenen Reiter dicht umschließt, so daß es für ihn unmöglich ist, bei einer Betätigung der Verschiebung aus dem Haken zu springen. Sauter läßt beim Abheben des Reiters das Häkchen an der Reiterverschiebung, das den Reiter greift, sich selbsttätig schließen.

Der wichtigste Punkt bei den verschiedenen Wagentypen ist die Empfindlichkeit. Im voraus sei dabei auf das aufmerksam gemacht, was häufig zu Mißverständnissen führt. Bisweilen wird als Empfindlichkeit einer Wage das Zulagegewicht angegeben, das gerade noch einen deutlich sichtbaren Ausschlag hervorruft, bisweilen das Gewicht, das einen Ausschlag von einem Skalenteil bewirkt. Wird darauf nicht geachtet, so können dadurch Irrtümer in Höhe einer Zehnerpotenz entstehen. Man kann wohl sagen, daß es heute keine Schwierigkeiten mehr bietet, Analysenwagen mittlerer Tragkraft zu bauen, also 50 bis 1000 g, die eine Empfindlichkeit von nur 1×10^{-7} für einen Skalenteil haben. An feineren Wagen für physikalische Zwecke läßt sich die Empfindlichkeit noch um eine Zehnerpotenz steigern. Nach den vorliegenden Erfahrungen scheint $1 \cdot 10^{-9}$ etwa die Grenze der Wägegenauigkeit zu sein, die man heute erreichen kann[1]), unter ganz besonders günstigen Bedingungen vielleicht noch etwas mehr. Das Bestreben aller Wagenbauer geht natürlich dahin, den Zeitverlust bei Wägungen so weit wie möglich dadurch zu vermindern, daß die Schwingungsdauer der Wage nach Möglichkeit verkürzt wird. Da sie ja bei Vergrößerung der Empfindlichkeit zunehmen muß, ist der Weg eingeschlagen worden, mit Wagen tatsächlich geringerer Empfindlichkeit zu arbeiten und die Ablesung der Schwingungen des Balkens zu verfeinern. Das wird auf den verschiedensten Wegen erreicht.

Der einfachste und älteste ist natürlich der, daß der Wagebalken mit einem Spiegel ausgerüstet und dann seine Bewegung mit Fernrohr und Skala beobachtet wird. Über eine derartige Konstruktion braucht weiter nichts gesagt zu werden, da sie in allen Einzelheiten bekannt und bewährt ist. Es ist übrigens auffällig, daß diese Konstruktion nicht eine einfache und praktische Abänderung gefunden hat, die z. B. bei Galvanometerablesungen seit langem eingeführt ist, die objektive Ableseeinrichtung, daß also der Beobachter auf einer Skala den Lichtzeiger wandern sieht, der von dem Spiegel am Wagebalken reflektiert wird. Man bedarf bei Wagen dazu eines feststehenden Hilfsspiegels, der z. B. an der Zimmerdecke angebracht wird, und hat dann die Möglichkeit, die Ableseskala an eine günstige Stelle zu legen, so daß der unmittelbar vor der Wage sitzende Beobachter die Skala mit leichter Mühe im Auge behalten kann, ohne dazu gezwungen zu sein, die ermüdende und unbequeme Ablesung durch ein Fernrohr vorzunehmen. Da ja eine feine Wage nicht zu den transportabeln Meßgeräten zählt, sie vielmehr dauernd am gleichen Platz stehen bleibt, bietet

[1]) Majorana, *Phil. Mag.* **39**. *S. 488. 1920;* Heyl, *Bull. Bur. of Stand.* **19**. *S. 307. 1924.*

eine solche Anordnung keine Schwierigkeiten. Einzelne Lösungen seien im nachstehenden beschrieben. Kuhlmann wendet z. B. die bereits in *dieser Zeitschr.* **15.** *S. 116. 1895* beschriebene Anordnung mit Konkavspiegel an, die vor anderen Lösungen den Vorzug hat, keines Fernrohrs zu bedürfen, aber auch nur schwache Vergrößerungen zuläßt. Die meisten Konstruktionen sind unter Verwendung von Autokollimationsfernrohren ausgeführt, meistens in die Vorderwand der Wage eingebaut, bisweilen seitlich. Sie verwenden also alle einen Spiegel am Wagebalken. Bisweilen wird ein einfaches genügend stark vergrößerndes Mikroskop auf die Zeigerspitze oder eine Marke am Zeiger gerichtet, mit Okularskala im Mikroskop selbst.

Im engsten Zusammenhang damit stehen zwei andere Lösungen der Aufgabe der Beschleunigung von Wägungen. Bunge baut an seine Wage auf Wunsch eine leichte Neigungszeigerwage, die von dem Wagebalken der eigentlichen Wage betätigt wird und bei Belastung der einen Schale sofort an einer Skala das Gewicht der Last auf Gramm etwa angibt. Die Neigungswage kann dann sofort ausgeschaltet werden, und nun kann ohne weiteres die Wage mit dem angenäherten Gewicht der Last belastet werden. Sartorius bringt an seine Wagebalken ein ⊓-förmiges abhebbares Zusatzstück an, das symmetrisch zur Mittelschneide auf zwei fein geschliffene Zylinder aufgelegt wird, so daß es immer in genau die gleiche Lage kommt, ohne den Nullpunkt der Wage zu ändern. Dieses Stück hat an jedem Schenkel zwei Justierschrauben, eine in Richtung des Schenkels und eine senkrecht dazu parallel zur Grundlinie, und durch deren Einstellung kann man es erreichen, daß beim Aufsetzen des Stücks auf den Balken die Empfindlichkeit der Wage auf genau den zehnten Teil herabgesetzt wird. Man kann also leicht Vorwägungen machen bzw. an der gleichen Wage auch Gewichtsbestimmungen minderer Genauigkeit ausführen. — Das sind im wesentlichen die wichtigsten Neuerungen im Bau der Einzelteile von feineren Wagen.

Wir wollen nunmehr dazu übergehen, den Zusammenbau der ganzen Wage noch kurz zu besprechen. Auch darin hat sich nur wenig gegenüber früher geändert. Insbesondere Vorkehrungen gegen Temperatureinflüsse findet man selten. Es sind die üblichen Umschlußkästen mit großen einfachen Glasfenstern gebräuchlich. Ein Versuch, eine bessere Temperaturisolierung auf dem Wege herbeizuführen, daß man die Scheiben verdoppelt, daß also zwischen ihnen sich eine isolierende Luftschicht befindet, ist anscheinend niemals gemacht. Auch Versuche, die Wage nur künstlich zu beleuchten, liegen kaum vor. Nur über eine Konstruktion von Sartorius sei berichtet, seine Mikrowage. Sie schließen bei ihr zunächst den Balken in eine Aluminiumkammer mit Glasfenstern ein, in einer ähnlichen Weise, wie es früher in der Arbeit von Manley geschildert wurde. Dann treffen sie noch besondere Vorkehrungen zur Beseitigung des Strahlungseinflusses der Wand, an der die Wage steht. Unmittelbar vor die Wand setzen sie einen Schirm aus zwei dicken Pappen in einem Holzrahmen, der in seinem Innern eine 3 cm dicke Luftschicht einschließt. Zur Beleuchtung der Wage dient nicht die Raumbeleuchtung, sondern vier kleine 2 V-Lämpchen in einem zweiten Rahmen. Sie sind so angeordnet, daß zwei von ihnen sich etwa in Höhe der Wageschalen befinden und zwei nahe den Enden des Balkens zur Beleuchtung der Reiterbahn. Zwischen den Lampen und der Wand ist dann endlich noch ein weiterer Schirm aufgestellt, aus zwei Schichten Seidenpapier bestehend mit einer Luftschicht dazwischen, die übrigens nicht abgeschlossen ist, sondern sich dauernd selbst erneuert, zur Zerstreuung der Beleuchtung und Abschirmung der Lampenstrahlung. Merkwürdigerweise ist bisher noch niemals der Versuch gemacht worden, eine Sicherung vor Strahlung bzw. Leitung durch die Grundplatte der Wage vorzunehmen. Insbesondere wenn diese

aus Marmor besteht und die Wage auf einer Marmorkonsole oder Steinpfeiler steht, könnten immerhin merkliche Wärmemengen durch die Grundplatte umgesetzt werden. Nur in der oben erwähnten Arbeit von Heyl ist die Grundplatte, wie aus einer Abbildung ersichtlich, kräftig isoliert.

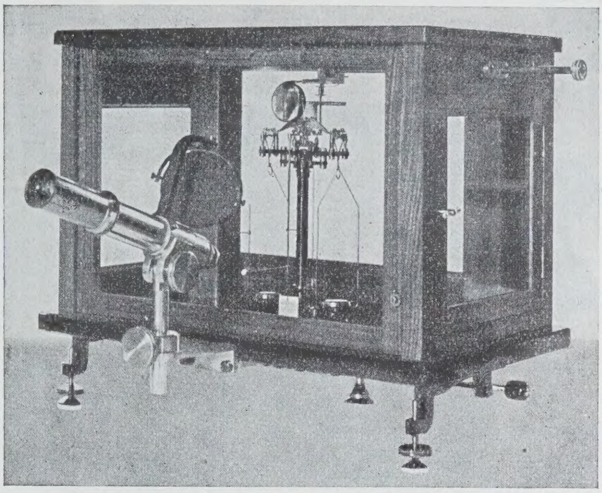


Fig. 6.

Zum Schluß seien dann drei Konstruktionen beschrieben, die noch nicht in weiteren Kreisen bekannt sind. Zunächst eine von Kuhlmann-Hamburg gebaute Mikrowage (Fig. 6 u. 7), über die die Angaben der Verf. der Freundlichkeit der Herren Dr.-Ing. Kuhlmann und Dr. F. Holtz-Würzburg verdankt. Die Grundform der Wage ist die gebräuchliche, mit dem üblichen Balken mit Reiterlineal. Es wird ein 5 mg-Reiter benutzt, mit dem man bis zu 0,1 mg einstellen kann. Neu ist dann an der Wage ein zweites Reiterlineal von 0,1 der Länge des Hauptlineals mit 10 Teilen und einem 0,5mg-Reiter, womit man die 0,01 mg erhält. Der Balken hat Zeiger- und Skalenablesung der üblichen Art. Dieser Zeiger trägt an einem horizontalen Arm ein wenig oberhalb seiner Spitze eine in 20 Teile geteilte Skala von 1 mm Länge, auf die ein stark vergrößerndes Mikroskop mit Okularfaden gerichtet ist. Das Mikroskop ist an der Wagensäule befestigt und ohne Zusammenhang mit dem Gehäuse außerhalb von ihm. Man kann mit ihm bei schwingender Wage mit Sicherheit die 0,001 mg ablesen und die 0,0001 mg schätzen. Die Schwingungsdauer des Balkens ist sehr klein und ihre Unempfindlichkeit gegen äußere Störungen sehr weitgehend. Einige Versuche zeigten, daß bei Analysen von Substanzen mit nur 0,23 mg Ausgangssubstanz Genauigkeiten von wenigen Zehntel Prozent erreicht werden konnten.

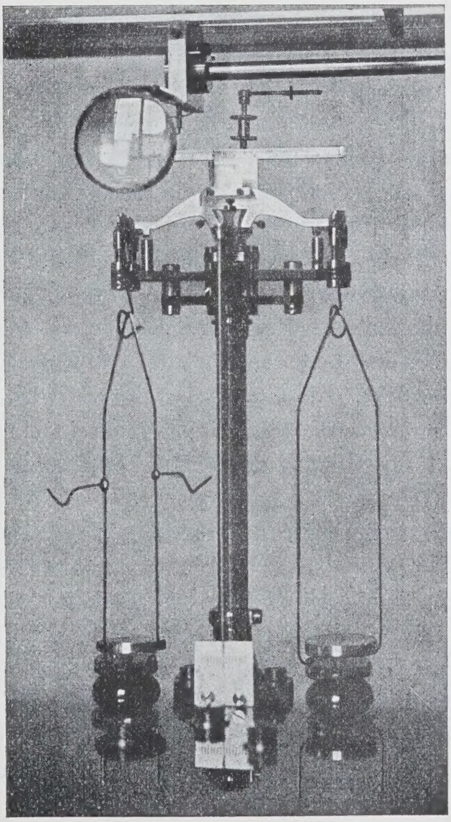


Fig. 7.

In ähnlicher Weise wie Kuhlmann hat auch Bunge eine als Holtzsche Ultrawage bezeichnete Mikrowage (Fig. 8) gebaut. Die Abbildung läßt ihre Einzelheiten genügend genau erkennen. Der Balken ist ebenfalls mit einem zweiten Reiterlineal versehen, und ist, an sich von gleicher Form wie die bekannten Bunge-Balken, in der Mitte durchbrochen, um das zweite Lineal gut sichtbar

zu machen. Dieses hat 22 Kerben und eine Längsnut, auf ihm ruht senkrcht zur Balkenrichtung ein /‾‾\-förmiger 0,5 mg Reiter, der durch einen Doppelhaken bewegt werden kann, und dessen Lage man bequem durch daran angebrachte Beleuchtungsspiegel und große Lupe in Rechtecksform beobachten kann, die auch für das große Lineal aus reichen. Reiter und Reiterbewegung auf dem Hauptlineal sind wie üblich. Der Balken wird an 4 Punkten arretiert. Es trägt eine kleine Justiermutter zur Einstellung der Ruhelage, die von außen betätigt werden kann. Die Ablesung der Balkenbewegung erfolgt durch ein seitlich angebrachtes Kollimationsfernrohr, so daß also die großen Schalen völlig frei sichtbar sind. Die Skala im Kollimationsfernrohr gibt unmittelbar 0,001 mg, und durch Schätzung 0,0001 mg.

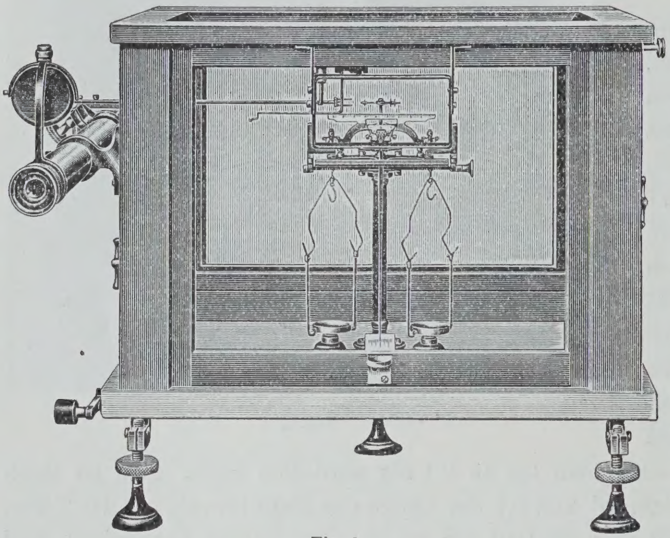


Fig. 8.

Sodann liegen Konstruktionen zu dauernden Registrierungen der Gewichtsänderungen bei physikalischen und chemischen Vorgängen vor. Eine Konstruktion von Kuhlmann[1]) arbeitet folgendermaßen: Es wird eine normale analytische Wage verwendet, die sich in der Ausgangsstellung gerade im Gleichgewicht befindet. Der Balken trägt einen Hohlspiegel, der in bekannter Weise die Bewegung des Balkens auf eine Registriertrommel photographisch aufzeichnet. Weiter ist mit dem Balken ein Doppelhebel fest verbunden mit vier Kontaktstiften, je zwei auf jeder Seite nach oben bzw. unten. Wird die Wage einseitig mit 100 mg belastet, so stoßen die entsprechenden Stifte an eine Kontaktfläche an und schließen den Stromkreis eines empfindlichen Relais. Im Wagekasten ist ein Rohr angebracht, in dem säulenförmig übereinandergeschichtet sich eine Reihe von kreisförmigen Plättchen von je 100 mg Gewicht befinden. Wird jener Relaisstromkreis geschlossen, so wird durch das Relais bewirkt, daß die Wage arretiert wird, sodann wird durch eine Schiebereinrichtung das unterste Plättchen der Säule in eine Rinne geschoben und gleitet durch sie in ein Hilfsgefäß auf der einen Wageschale. Darauf wird die Wage wieder entarretiert. Je nachdem welche Kontakte berührt werden, wird die Rinne so umgelegt, daß das Plättchen auf die richtige Wageseite fällt. Auf dem Registrierblatt wird also die Bewegung des Balkens in unterbrochenen Linien aufgezeichnet, wobei jede Unterbrechung oder besser Unstetigkeitsstelle einer Gewichtsänderung von 100 mg entspricht. Eine ähnliche Konstruktion führt Bunge-Hamburg aus. Er vermeidet die Kontakte am Balken dadurch, daß der Balken in der Grenzstellung, wenn eine Belastungsänderung erfolgen muß, durch einen Spiegel Licht auf eine Selenzelle wirft, deren Widerstandsänderung bei der Belichtung die Betätigung der Arretierung und Entarretierung der Wage und ihrer Belastungsänderung in ganz ähnlicher Weise wie oben geschildert bewirkt.

[1]) E. Abderhalden, Fermentforschung. *1. S. 155. 1915.*

Eine merklich verschiedene Konstruktion zu praktisch dem gleichen Zweck ist endlich die Odén-Keen-Wage[1]). Bei ihr ist an dem Zeiger ein Kontakt nach beiden Seiten angebracht. Er trägt zwei Federn aus Platin mit Stromzuführungen aus ganz feinen Drähten, die in nächster Nähe der Mittelschneide zur Säule führen. Zwischen beiden liegt das feste Kontaktstück. Bei dieser Konstruktion wird also Kontakt gegeben, wenn die Wage sich um einen ganz geringen Betrag aus ihrer Ruhelage entfernt. Das feste Kontaktstück ist ein Rädchen aus Messing von etwa 2 cm Durchmesser mit Platineinlage, das durch ein besonderes Uhrwerk in etwa 1 Min. gedreht wird; seine Achse sitzt ein wenig exzentrisch, so daß stets eine leichte Schleifwirkung der Federn auf den Platinstiften eintritt und so ein günstiger und zuverlässiger Kontakt gewährleistet wird. Die Ausgleichung des Gewichts wird nun in folgender Weise vorgenommen: An der einen Schale hängt ein zylindrischer Eisenstab in Form eines Rohrs aus Kobalt-Magnet-Stahl in einem Solenoid. Die Stromstärke in ihm wird auf folgende Weise derart einreguliert, daß die Wage sich im Gleichgewicht befindet. Es sind zwei gleiche parallele Schleifdrähte aus Widerstandsdraht vorgesehen, die durch einen gemeinsamen beweglichen Schleifkontakt verbunden sind, daß auf beiden stets gleiche Stücke abgegriffen werden. An den Enden des einen Drahtes liegt die Hilfsspannung, und parallel zu dem einen Teil dieses Drahtes von seinem einen Ende bis zu dem Schleifkontakt liegt das Solenoid mit dem Teil des zweiten Schleifdrahtes, der in seiner Länge dem nicht zur Spannungsabnahme benutzten Teil des ersten gleichkommt. Der Schleifkontakt, der sich auf den beiden Drähten derart verschiebt, daß er auf beiden stets gleiche Längen abgreift, wird durch ein endloses Band bewegt, das durch zwei kleine Motoren angetrieben wird. Je nachdem der rechte oder linke Kontakt am Zeiger geschlossen wird, wird der betreffende Motor eingeschaltet, der den Kontakt nach der gewünschten Seite hinzieht. Er ist überdies mit Schreibfeder versehen und schreibt in bekannter Weise seine Bewegung auf einem Registrierblatt auf. Eine Eichung der ganzen Anordnung durch bekannte Zulagegewichte ist übrigens notwendig. Durch geeignete Widerstandsbemessung der Schleifdrähte kann man günstige Empfindlichkeitsstufen einstellen. Das Meßbereich hängt natürlich von der Länge des Drahtes ab und wurde, für die verschiedensten Zwecke brauchbar, so bemessen, daß deren Länge rund 0,5 g, 0,15 g und 0,06 g entsprach. Um weitere Meßbereiche zu erhalten, sind ähnliche Einrichtungen wie schon oben geschildert, angewendet. Die Hersteller verwenden Kugeln aus Phosphorbronze mit den obigen Gewichten, die in Bohrungen einer Kreisscheibe ruhen. Erreicht der Schleifkontakt eine Endstellung, so schließt er einen Relaisstromkreis, der die Kreisscheibe so weit dreht, daß eine Bohrung mit der innen liegenden Kugel vor eine Öffnung im Gehäuse kommt, die Kugel rollt heraus und fällt auf die Wageschale. Ist das geschehen, so wird gleichzeitig der Schleifkontakt an das andere Ende der Drähte zurückgezogen. Die Form der Aufzeichnungen ist also etwa die gleiche wie oben geschildert. Die Schaltung der Schleifdrähte bewirkt, daß die Gewichtsänderung sehr nahe proportional der Verschiebung des Kontaktes ist.

[1]) J. R. H. Coutts, E. M. Crowther, B. A. Keen, S. Odén. *Proc. Roy. Soc.* (*A*). **106.** *S. 33. 1924.*

Mikrometer und Meßapparate. IV.

Von
Dr. **Paul Duckert** in Berlin-Lichterfelde.

(Schluß von **44.** S. 555. 1924.)

IVa. Beobachtungsmethoden mit Doppelbildmikrometer.

Im folgenden will ich kurz eine Zusammenstellung der verschiedenen Möglichkeiten, mit einem Doppelbildmikrometer zu beobachten, angeben, wie sie dem Astronomen selbstverständlich erscheinen, aber von vielen Physikern wegen der befürchteten systematischen Fehler nicht benutzt werden.

Handelt es sich um das Problem, die Distanz zweier Punkte mittels Doppelbildmikrometer zu bestimmen, so ist zunächst entscheidend für die Wahl der Methode der Abstand der zu messenden Objekte. Für größere Distanzen benutzt man gern die Methode der Bestimmung der doppelten Entfernung.

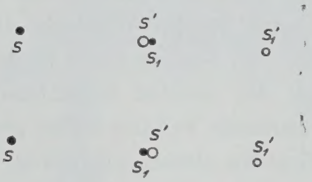


Fig. 22.

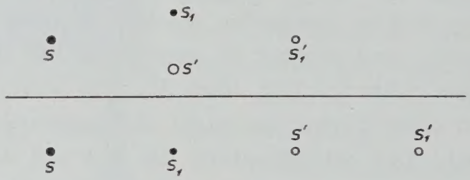


Fig. 23.

Bedeuten S und S_1 die beiden zu vermessenden Punkte. Stelle weiter in der Fig. 22 s und s_1 das eine Bild, s' und s_1' das zweite Bild des Systems dar, so besteht, wie in der Figur angedeutet, die Möglichkeit, zunächst eine innere Berührung (siehe oben) von s_1 und s' und dann eine äußere Berührung desselben Bildes (siehe unten) herzustellen. Die Summe der Ablesungen an der Meßskala stellt dann ersichtlich frei von konstanten Fehlern die doppelte Entfernung der beiden Punkte S und S_1 dar, vorausgesetzt, daß der Nullpunkt der Skala vorher bestimmt worden ist.

Eine zweite Methode, die die Kenntnis des Nullpunktes nicht benötigt und deshalb vorzuziehen ist, an Genauigkeit aber der vorgenannten sicher etwas nachsteht, bestände darin, den Positionswinkel nicht ganz in die Verbindungslinien der beiden Objekte einzustellen. Sie würde entsprechend der Abb. 23 eine getrennte Bestimmung von Distanz- und Positionswinkel erforderlich machen. Der obere Teil der Figur gibt die Art der Distanzbestimmung an. Mit etwas verschiedener Positionswinkeleinstellung könnte man die symmetrische Raute einstellen. Stellt man dann dieselbe Figur nach der anderen Seite des Nullpunktes zu noch einmal ein, so ergibt ersichtlich die halbe Differenz der Skalenablesungen die Distanz der Objekte. Für die Bestimmung des Positionswinkels genügt es in diesem Falle, die vier Bildpunkte beliebig auf eine Gerade zu stellen.

Ein direktes Abdecken der Bilder zur Distanzbestimmung ist zu ungenau, wenn dieselben nicht eine größere ebene Abbildung besitzen, und wird daher meistens vermieden. Siehe hierüber die Untersuchung über die Genauigkeit bei Entfernungsmessern, wie sie von v. Hofe und König angestellt wurden.

Bei kurzen Entfernungen der Objekte ist eine andere Methode wesentlich genauer, die darauf beruht, daß man die vier Bildpunkte zunächst durch Positionswinkelbestim-

mung in eine Gerade bringt, und wie in Abb. 24 angedeutet, die Bildpunkte $s\,s_1\,s'\,s_1'$ in die gleiche Entfernung voneinander einstellt.

Ist jetzt mittels Schätzung

$$s\,s_1 = s_1\,s' = s'\,s_1'$$

und

$$s'\,s_1' = s_1'\,s = s\,s_1,$$

so stellt die Differenz der Ablesungen die vierfache Distanz der Objekte dar.

Um bei diesen Methoden frei von systematischen Bisektionsfehlern zu werden, kann man zweckmäßig vor dem Beobachtungsokular ein Reversionsprisma verwenden, das bei Verwendung die Bilder umkehrt. Das Mittel aus den beiden Einstellungen mit und ohne Bildumkehrung ist dann frei von systematischen Fehlern.

Alle genannten Methoden sind aber nur für einen idealen Fall einwandfrei, wenn nämlich dafür gesorgt ist, daß die beiden Bilder eines Objektes bei Verschiebung der das Doppelbild ergänzenden Linsenhälften übereinander genau hinweggehen, ist dies nicht der Fall, so muß man den Fehler vorher bestimmen und kann ihn als Instrumentalkonstante behandeln, um ihn ein für allemal rechnerisch zu berücksichtigen. Dieser Fehler hebt sich, wie man leicht einsehen kann, aber bei Messungen von auf zwei verschiedenen Seiten erzeugten Bildern des Nullpunktes immer auf.

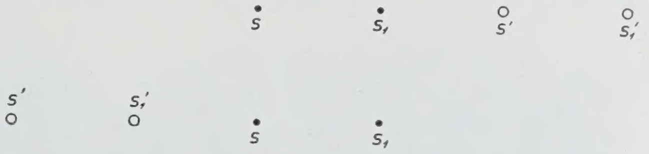


Fig. 24.

Beim Wellmannschen Doppelbildmikrometer nutzt man, wie die Methode ja auch ohne weiteres erwarten läßt, die Tatsache aus, daß zwei entsprechende ordentliche und außerordentliche Bilder stets auf Parallelen liegen. Systematische Fehler sind bei ihm kaum möglich.

Über die Berücksichtigung der astronomisch wichtigen Korrektionen, wie sie etwa bei Durchmesserbestimmungen usw. auftreten, soll hier nicht gesprochen werden.

V. Meßapparate.

Wie schon erwähnt wurde, bilden nun die Meßapparate eine Type für sich. Sie unterscheiden sich, ganz grob gesprochen, schon durch die erheblich größeren Dimensionen von den kleineren Mikrometertypen, auch die Art der Verwendung läßt eine abweichende Klassifizierung sofort erkennen. Der Meßapparat dient im allgemeinen dazu, reell auf dem Objekttisch vorhandene Gegenstände zu vermessen bzw. die auf photographischem Wege auf beliebige Art festgehaltenen Abbildungen einzelner Objekte, z. B. Sterne, zueinander in Beziehung zu setzen. Unter den verschiedenen Plattenmeßapparaten wiederum müssen wir unterscheiden zwischen solchen, die einen ausgesprochenen Spezialzweck verfolgen, wie z. B. die Längenmeßapparate, die nur in einer Richtung mit genauen Meßeinrichtungen versehen sind, und Apparaturen mit universellerem Verwendungszweck, wie wir diejenigen bezeichnen wollen, die auch eine genaue Fixierung beliebig in der Plattenebene verteilter Punkte in Beziehung zueinander zu setzen gestatten. Die letzteren Apparate können wieder verschieden voneinander geartet sein; entweder sind sie mit Kreuztischen ausgestattet, besitzen also in zwei zueinander genau senkrecht stehenden Richtungen exakte Meßeinrichtungen, oder sie besitzen einen Positionskreis, bei ihnen ist die meßbare Orientierung des

Objektes in die Meßrichtung der Schraube hinein der Ersatz für die zweite Meßschraube. Beide haben ihre Vorteile, je nachdem man rechtwinklige oder polare Koordinaten den späteren Untersuchungen zugrunde legen will.

Als erster Typ sei der für einen ausgesprochenen Spezialzweck bestimmte, der des Längenmeßapparates, näher beschrieben. Fig. 25 zeigt einen größeren Vertreter dieser Apparatgattung, den von den Askaniawerken A. G. in Friedenau hergestellten, nach Vogel-Potsdam konstruierten Auswertapparat, der vornehmlich zum Ausmessen von Spektralaufnahmen Verwendung finden soll. Wie aus der Figur ersichtlich, besteht er im wesentlichen aus einem pultförmigen gußeisernen Hauptkörper als Träger des ganzen Instrumentariums. Auf der oberen gehobelten Platte ist der Hauptschlitten

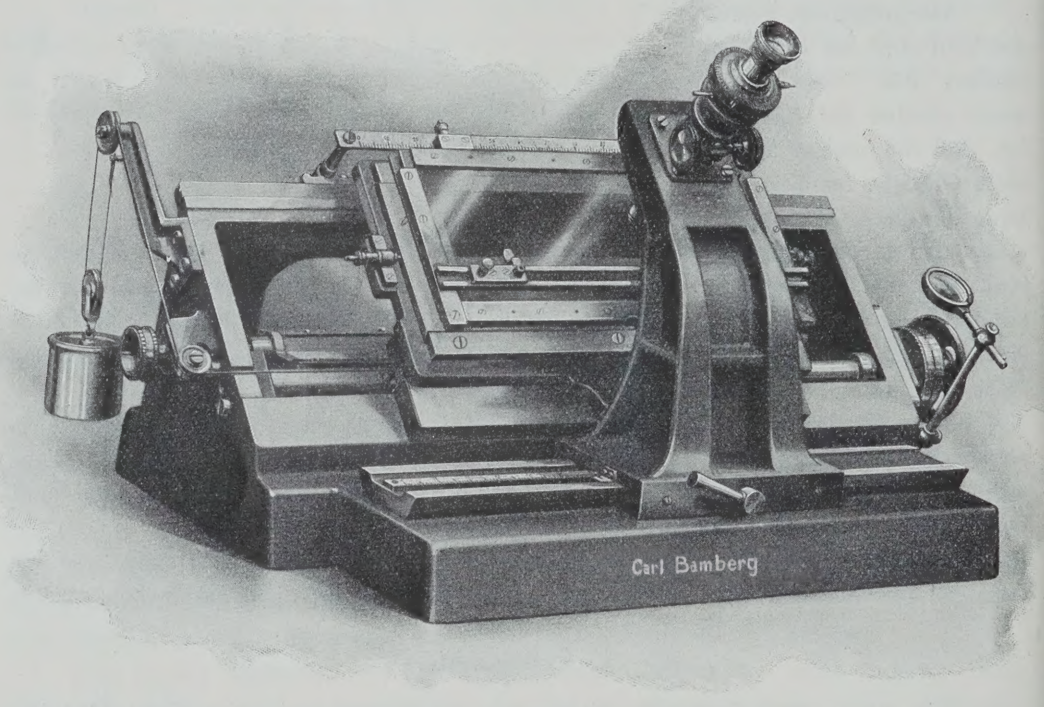


Fig. 25. Längenmeßapparat für 300 mm Meßbereich nach Vogel.

montiert, der vermittels der Meßschraube in der Längsrichtung mikrometrisch verschoben werden kann. Er dient wiederum als Fundament eines kleinen Nebenschlittens, der als Plattenhalter ausgebaut ist. Dieser ist zunächst orientierbar senkrecht zur Meßschraubenrichtung vermittelst der Feinstellung für den Nebenschlitten, erlaubt aber außerdem vermittels einer kleinen Positionskorrektionsschraube, die am oberen Ende des Schlittens auf der Figur noch zu erkennen ist, eine kleine Drehung der Plattenauflage. Der Plattenhalter ist als Universalhalter ausgebildet, so daß auch jedes kleinere Plattenformat verwendet werden kann. Der Träger des Beobachtungsmikroskopes ist parallel zur Schraubenrichtung auf einer gehobelten Schiene verschiebbar, die Verschiebung wird auf ganze Millimeter mittels Index abgelesen. Ein Gegengewicht sorgt endlich dafür, daß die Meßschraube stets gegen das Widerlager gezogen wird und die Messungen nicht etwa durch toten Gang verfälscht werden können. Die verwendete Meßschraube hat bei einer Ganghöhe von 0,5 mm und einer Ablesegenauigkeit von 0,0005 mm eine nutzbare Länge von 300 mm.

Zu bemerken ist, wie an dieser Stelle gleich eingeschaltet werden soll, die Lagerung der Meßschrauben, wie sie von Töpfer-Potsdam zuerst ausgeführt wurde. Fig. 26 gibt davon eine schematische Veranschaulichung. Man könnte fast meinen, eine stark gezwungene Fassung des wichtigsten Instrumententeils, der Schraube, vor sich zu haben, wenn man beachtet, daß sie eigentlich an drei Stellen gelagert ist davon noch an zweien derselben sehr lange Führungen besitzt. Der Bund der Schraube ist ebenso wie die Mutter ziemlich lang, und die Kuppe der Schraube ist am Gegenlager nochmals durch eine zylindrische Kappe gehalten. Es ist ersichtlich, daß eine derartige Lagerung ohne Beeinträchtigung der Messungen überhaupt nur zulässig ist, wenn die Meßschraube in jeder Beziehung vollkommen einwandfrei ausgeführt ist und die Montage derselben mit äußerster Sorgfalt in senkrechter freihängender Lage erfolgt ist. Erleichtert wird die Herstellung der Schraube lediglich durch den großen Durchmesser, den man derselben bei derartig großen Apparaten geben kann, und der sich

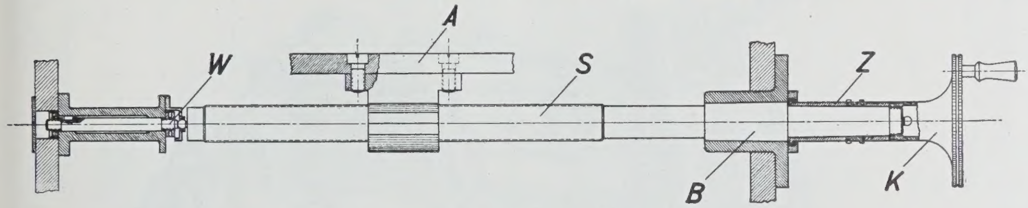


Fig. 26. Schematische Darstellung der Schraubenlagerung.
S = Schraube. W = Widerlager, verstellbar. A = Ansatzflansch mit Mutter. B = Bund. Z = Aufsatz des Zählwerkes. K = Kerbel.

entgegen den Ansichten vieler Konstrukteure in allen mir bekannt gewordenen Ausführungsfällen außerordentlich bewährt hat. Die Herstellung derartiger Präzisionsschrauben kann im Rahmen dieser Mitteilung nicht berührt werden. Ein ziemlich genaues Bild von der Güte einer Schraube, selbst erst im vorgeschrittenem Fabrikationszustande, kann man auf folgende relativ einfache Art gewinnen. Auf die Schraube selbst wird eine verhältnismäßig kurze Mutter aufgesetzt, die etwa bei den für den vorbeschriebenen Längenmeßapparat verwendeten Schrauben mit 0,5 mm Ganghöhe 6 Gänge faßt. Diese trägt leicht justierbar einen absolut planparallelen oder noch besser einen planen Oberflächenspiegel. Auf den Bund der Schraube aufgepaßt, befindet sich ebenfalls eine Spiegelfassung mit einem planparallelen Spiegel. Stellt man jetzt die beiden Spiegel zueinander so ein, daß sie schwach keilig zueinander stehen, so kann man ersichtlich Interferenzstreifen erzeugen, die mittels eines Beobachtungsokulars sichtbar gemacht werden. Die Zahl der Streifen gibt in bekannter Weise ein Maß für die Keiligkeit. Wird jetzt die Schraube gedreht, so tritt selbst bei den besten Präzisionsausführungen eine Änderung des Interferenzbildes ein. Die Änderung der Streifenanzahl gibt ein direktes Maß für die Güte der Schraube. Versuche an kleineren Schrauben haben gezeigt, daß wider alles Erwarten die Empfindlichkeit der Prüfung eine außerordentlich große ist. Es ist sogar möglich, daß dieselbe bei direkter Verwendung der im Apparat später verwendeten Mutter eine ausreichende Empfindlichkeit besitzt und die anderen numerischen Prüfmethoden ersetzt. Wie auch die messende Untersuchung der Schrauben, die ja daneben bisher immer noch nötig war, erübrigt werden kann und durch eine einfachere sicherere ersetzt wird, soll für eine spätere besondere Abhandlung vorbehalten bleiben. Neben dieser Möglichkeit der qualitativen Prüfung mittels Interferenzen ist eine andere Methode vor Jahren bekannt geworden, deren Ursprung mir bisher leider nicht zugänglich war. Bei ihr wird das Profil der Schraube als Raster für eine auf dem Beugungseffekt beruhende Untersuchungsmethode

verwandt. Eine systematische Untersuchung dieser Art ist vom Verfasser vor über Jahresfrist durchgeführt worden. Sie hat eine erhebliche Genauigkeit, steht aber der der vorgenannten Methode um etwa eine Größenordnung nach.

Auf Anregung von Lohse-Potsdam entstand aus der Apparattype der Längenmeßapparate eine solche, bei der analog den verschiedenen Mikrometertypen eine mechanische Registrierung der jeweiligen Meßschraubeneinstellung durch eine Druckeinrichtung erfolgt. Ein derartiges Druckwerk an einem Längenmeßapparat, ergänzt durch eine kleine Schreibmaschinentastatur, zeigt die Fig. 27. Der Vorteil ist bei dieser Einrichtung augenscheinlich, da erstens die möglichen Irrtümer absolut sicher vermieden sind, zweitens aber auch eventuelle Störungen des messenden Auges durch

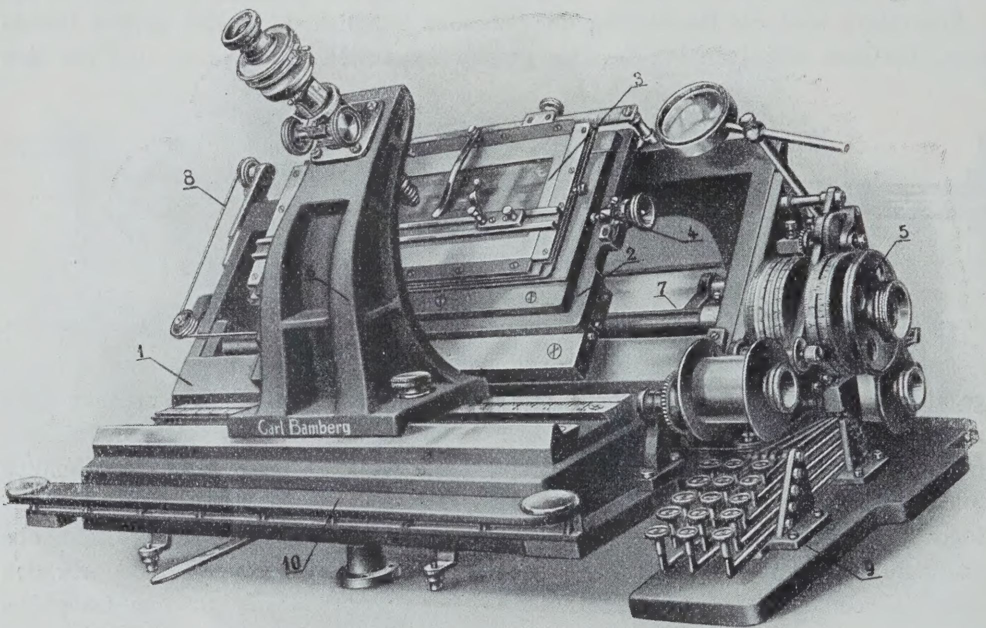


Fig. 27. Großer Längenmeßapparat mit Druckregistrierung.
1. Hauptkörper. 2. Schlitten. 3. Nebenschlitten. 4. Feinverstellung. 5. Meßschraube 6. Beobachtungsmikroskop. 7. Beleuchtungsspiegel. 8. G gengewicht. 9. Tastatur. 10 Druckeinrichtung.

die ungleich andere Lichtverteilung auf der Meßtrommel vermieden werden. Andererseits ist aber auch eine schädliche Erschütterung der ganzen Apparatur durch den Druck auf die Auslösungseinrichtung zu befürchten, die lediglich bei äußerst sorgfältiger Lagerung und massiver Konstruktion vermieden wird. Es ist zu erwägen, ob nicht eine elektrische Registrierung trotz der damit verbundenen ruckweiseren Bedienung doch einwandfreier arbeiten kann. Die zu überwindende Schwierigkeit besteht bei der elektrischen Registrierauslösung lediglich in der ganz erheblichen Kraftleistung, die der Transport des Registrierpapieres nötig macht.

Die kleine eingebaute Schreibmaschine ist auf jeden Fall sehr nützlich, da man mit ihrer Hilfe sofort Notizen auf das Beobachtungsdokument, den Registrierstreifen, niederschreiben kann.

Dieser Spezialapparat mit oder ohne Registrierung ist, wie oben schon erwähnt wurde, ausgezeichnet dazu geeignet, Messungen großer Differenzen mit äußerster Ge-

Tabelle 1. Ergebnis der Messung des Abstandes zweier photographischer Marken mit dem Längenmeßapparat C. B. 71 391 der Askaniawerke A. G. von 300 mm nutzbarer Schraubenlänge.

Markenabstand ca. 0,25 mm. Mikroskopvergrößerung 150 fach. $t = 18,0^0$ C.

Reduzierte Meßergebnisse.

Anfangsstellung der Meßschraube bei:											
cm	mm	cm	mm	cm	mm	cm	mm	cm	mm	cm	mm
0,0	0,250.15 .20 .40	5,0	0,250.50 .30 .40	10,0	0,250.50 .45 .35	15,0	0,250.45 .30 .30	20,0	0,250.60 .75 .50	25,0	0,250.45 .30 .45
,2	.20 .25 .40	,2	.40 .40 .50	,2	.35 .40 .40	,2	.40 .35 .35	,2	.50 .65 .55	,2	.35 .45 .35
,4	.15 .25 .45	,4	.35 .45 .45	,4	.45 .50 .25	,4	.35 .30 .25	,4	.45 .65 .50	,4	.40 .50 .30
,6	.25 .30 .40	,6	.30 .50 .40	,6	.25 .35 .30	,6	.25 .25 .30	,6	.55 .60 .45	,6	.25 .35 .25
,8	.20 .25 .15	,8	.15 .25 .35	,8	.35 .40 .35	,8	.35 .25 .15	,8	.40 .45 .35	,8	.35 .25 .15
1,0	0,250.15 .10 .25	6,0	0,250.30 .40 .30	11,0	0,250.40 .30 .35	16,0	0,250.45 .30 .15	21,0	0,250.50 .55 .35	26,0	0,250.40 .40 .35
,2	.15 .30 .50	,2	.25 .45 .30	,2	.30 .25 .40	,2	.40 .25 .25	,2	.45 .40 .35	,2	.30 .35 .40
,4	.30 .50 .50	,4	.20 .40 .35	,4	.35 .30 .35	,4	.35 .30 .30	,4	.45 .40 .45	,4	.35 .40 .35
,6	.10 .25 .40	,6	.40 .35 .30	,6	.35 .40 .40	,6	.25 .35 .25	,6	.40 .40 .35	,6	.40 .25 .40
,8	.15 .10 .25	,8	.40 .40 .35	,8	.10 .20 .25	,8	.35 .40 .25	,8	.35 .25 .45	,8	.55 .50 .45
2,0	0,250.40 .20 .25	7,0	0,250.50 .45 .35	12,0	0,250.15 .25 .30	17,0	0,250.40 .25 .30	22,0	0,250.50 .35 .40	27,0	0,250.50 .35 .40
,2	.30 .50 .40	,2	.50 .40 .40	,2	.20 .35 .25	,2	.35 .30 .25	,2	.40 .40 .30	,2	.55 .40 .35
,4	.35 .65 .60	,4	.35 .35 .45	,4	.25 .40 .25	,4	.45 .45 .35	,4	.65 .50 .40	,4	.60 .35 .40
,6	.50 .40 .45	,6	.50 .45 .30	,6	.25 .25 .30	,6	.50 .55 .40	,6	.45 .40 .55	,6	.55 .40 .25
,8	.40 .30 .40	,8	.65 .50 .45	,8	.30 .35 .25	,8	.55 .45 .35	,8	.50 .45 .40	,8	.40 .35 .15
3,0	0,250.50 .35 .40	8,0	0,250.70 .60 .55	13,0	0,250.40 .40 .45	18,0	0,250.40 .35 .30	23,0	0,250.40 .40 .35	28,0	0,250.45 .40 .35
,2	.30 .40 .50	,2	.60 .50 .50	,2	.30 .35 .40	,2	.35 .40 .40	,2	.45 .25 .30	,2	.35 .35 .30
,4	.15 .15 .25	,4	.55 .45 .35	,4	.25 .30 .35	,4	.25 .30 .45	,4	.35 .15 .30	,4	.20 .45 .40
,6	.30 .40 .45	,6	.65 .50 .45	,6	.25 .30 .30	,6	.35 .35 .35	,6	.25 .25 .40	,6	.25 .50 .35
,8	.30 .40 .50	,8	.55 .35 .60	,8	.20 .35 .35	,8	.40 .45 .40	,8	.20 .30 .30	,8	.35 .45 .25
4,0	0,250.50 .30 .50	9,0	0,250.60 .45 .60	14,0	0,250.35 .35 .40	19,0	0,250.25 .30 .35	24,0	0,250.40 .35 .40	29,0	0,250.30 .40 .40
,2	.20 .40 .45	,2	.45 .45 .40	,2	.40 .30 .25	,2	.30 .35 .40	,2	.35 .25 .45	,2	.25 .25 .35
,4	.25 .55 .60	,4	.30 .50 .35	,4	.25 .30 .30	,4	.45 .40 .35	,4	.45 .40 .35	,4	.10 .20 .20
,6	.25 .35 .45	,6	.45 .55 .30	,6	.40 .40 .35	,6	.50 .45 .50	,6	.60 .45 .40	,6	.15 .10 .25
,8	.35 .45 .50	,8	.55 .45 .40	,8	.45 .30 .25	,8	.45 .60 .45	,8	.50 .55 .25	,8	.15 .15 .20
5,0	0,250.50 .30 .40	10,0	0,250,50 .45 .35	15,0	0,250.45 .30 .30	20,0	0,250.60 .75 .50	25,0	0,250.45 .30 .45	30,0	— — —

Die letzte Stelle ist ein reines Rechenergebnis, da zu jeder Ablesung 4 Einstellungen gemacht sind. Die drei nebeneinanderstehenden Zahlen in jeder Kolonne stellen das Meßergebnis dar, das bei 0^0, 120^0 und 240^0 Phasenverschiebung des Anfangspunktes der Messung erzielt wird.

nauigkeit anzustellen, vorausgesetzt, daß die Meßschraube frei von periodischen und fortschreitenden Fehlern ist. Daß derartige Meßschrauben auch in diesen großen Dimensionen herstellbar sind, mag das Resultat der Untersuchung einer der letzten von den Askaniawerken A. G. hergestellten Schrauben zeigen.

Wie aus der vorstehenden Tabelle, die absichtlich in dieser ausführlichen Form wiedergegeben wurde, erhellt, ist die verwendete Meßschraube eine außerordentlich gute, wenn man bedenkt, daß die Messungen bei stärkster Mikroskopvergrößerung ausgeführt sind und die vorgeschriebene Ablesungsgenauigkeit 0,0005 mm beträgt. Es sind zwar bei genauester kritischer Durchsicht der Tabelle Gänge der Zahlenwerte vorhanden, die aber unterhalb der Ablesegenauigkeit liegen. Der mittlere Einstellfehler bei den vorliegenden Messungen, der aus je den 4 Einstellungen für die Ablesung ermittelt wurde, betrug $\pm$ 0,00015 mm. Eine Auswertung der vorliegenden Tabelle soll hier nicht wiedergegeben werden. Der Apparat ist nach der vorliegend veröffentlichten Messung möglicherweise in der Schraubenlagerung um eine Wenigkeit geändert worden, so daß die mit großem Zeitaufwand angestellte Prüfung doch eine Wenigkeit vom Fertigzustande des Apparates abweichen kann. Eine Wiederholung der Messung in dem vorliegenden Umfange ist nicht geschehen. Nachstehend sei gleich noch die zweite wichtige Tabelle wiedergegeben, die das Meßergebnis bei der Vermessung eines Markenpaares mit ca. 50 mm Abstand bei um je einen Zentimeter verschiedenen Anfangswert der Messung darstellt. Die letzte Stelle der Zahlen in Tabelle 2 stellt wiederum nur ein Rechenergebnis infolge Mittelbildung dar.

Tabelle 2.

Bei Anfangswert	Meßergebnis	Bei Anfangswert	Meßergebnis
ca. 00 mm	49,99875 mm	ca. 130 mm	49,99890 mm
10	870	140	905
20	885	150	900
30	875	160	890
40	865	170	895
50	880	180	880
60	885	190	870
70	875	200	885
80	885	210	875
90	895	220	880
100	890	230	885
110	900	240	890
120	895	250	875

Eine wesentlich allgemeinere Verwendung wenigstens für in der Astronomie und überhaupt in der Vermessung von photographischen Aufnahmen vorkommende Fälle kann ein Apparat finden, der auf Anregung von Schnauder-Potsdam entstand. Die ursprüngliche Bestimmung dieses Apparates war die der Vermessung von Platten mit aufkopierten Gittern. Darüber hinaus kann aber überhaupt jede Photoplatte, auf der sich mehrere Anhaltspunkte befinden, mit ihm einer relativen Messung unterzogen werden. Ich will den in Fig. 28 gezeigten Apparat zunächst kurz beschreiben. Ein pultförmiger gußeiserner Hauptkörper (1) trägt einen Objektkreuztisch (3), der mit senkrecht zueinander liegenden Meßschrauben einer horizontalen (5) und einer vertikalen (6) von nur etwa 10 bis 20 mm nutzbarer Länge mikrometrisch bewegt werden kann. Er trägt die Plattenauflage (4), die mittels einer Korrektion kleine Verschiebungen der Photoplatte im Positionswinkel zuläßt. Parallel zu dieser Plattenführung befindet sich über dem Objektkreuztisch der Mikroskopträger (2), der in zwei senkrecht

zueinander stehenden Richtungen eine rohe Verstellung des Beobachtungsmikroskopes zuläßt, vermittels der Bewegung (7) in horizontaler Richtung und (8) in vertikaler Richtung. Die Einstellung vollzieht sich also in der Art, daß die zu untersuchende Stelle zunächst mittels der Ablesemikroskopverstellung aufgesucht wird und dann die Vermessung mittels der Meßschrauben am Objekttisch vorgenommen wird.

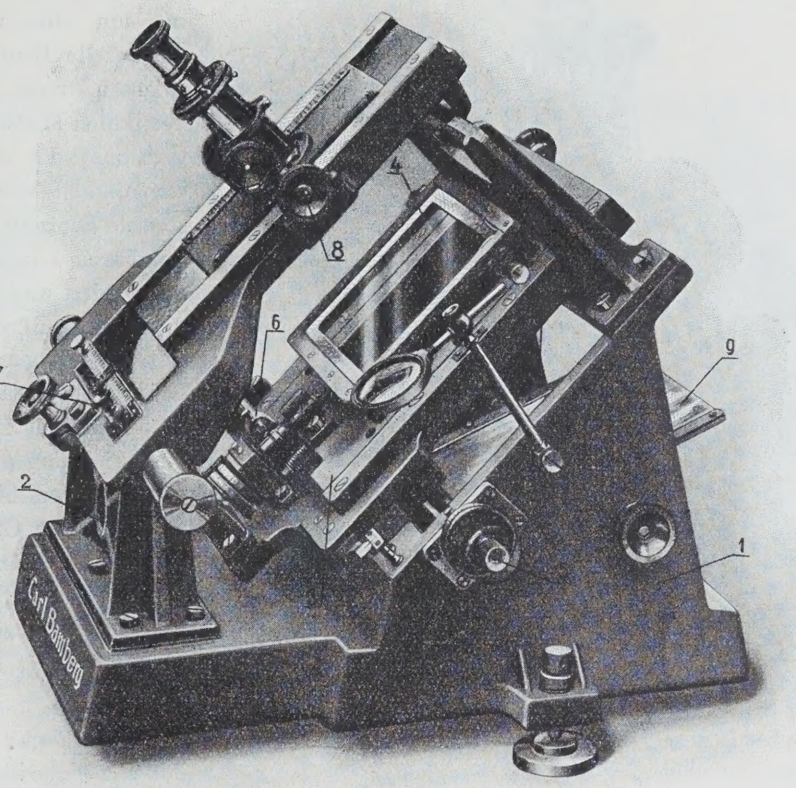


Fig. 28. Plattenmeßapparat nach Schnauder.
1. Hauptkörper. 2. Mikroskopträger. 3. Objektkreuztisch. 4. Plattenauflage. 5. Horizontale Meßschraube. 6. Vertikale Meßschraube. 7. Horizontale Mikroskopverstellung. 8. Vertikale Mikroskopverstellung. 9. Beleuchtungsspiegel.

Der Vorteil dieser Apparatur für die genannten Zwecke liegt klar auf der Hand. Neben der Bequemlichkeit in der Benutzung tritt aber hier ein bestimmender Faktor für die Herstellung hervor, der in der Kürze der Meßschrauben beruht und einen nicht zu verkennenden Vorteil und eine Garantie für Genauigkeit von vornherein bietet. Die Führung der großen beweglichen Tische bei diesen beiden Arten von Meßapparaten erfolgt zweckmäßig auf einer tadellosen Zylinderfläche, da diese die größte Gewähr für absolut einwandfreie Lagerung bietet.

Die letzte Universaltype, die ich hier als fundamental kennzeichnen will, ist die des großen Universalmeßapparates Wolfer-König, der in Abb. 29 wiedergegeben ist. Bei ihm ist die zweite mikrometrische Verschiebung des Objektmeßtisches, wie schon erwähnt wurde, ersetzt durch eine vollständige Positionsdrehung des Tisches. Der Meßapparat besteht im einzelnen wieder aus einem pultförmig angeordneten Haupt-

körper (1), auf dem sowohl der verschiebbare Mikroskopträger mit Tubus (2) als auch der Objekttisch (5) Platz findet. Die horizontale Mikrometerbewegung erfolgt durch die Meßschraube (3), die bei einer Ganghöhe von 0,5 mm und einer Ablesungsmöglichkeit auf 0,0005 mm eine nutzbare Länge von 150 mm besitzt. Der Objekttisch (5) trägt den Positionskreis (6), dessen Ablesung sich mittels zweier Schätzmikroskope (7 und 8) auf 6″ ausführen läßt. Außerdem ist dieser Apparat, um eine vollständig universelle Benutzung zuzulassen, noch mit einer vertikalen Meßschraube (4) versehen, die die gleiche Genauigkeit wie die horizontale Schraube bei einer nutzbaren Länge von 120 mm besitzt und dazu dient, das Ablesemikroskop, das mittels einem langen Schwalbenschwanz geführt ist, senkrecht zur Bewegungsrichtung des Objekttisches zu verschieben. Eine rohe seitliche Orientierung des ganzen Mikroskopträgers, die mittels Index auf 1 mm abzulesen ist, vervollständigt die Ausrüstung.

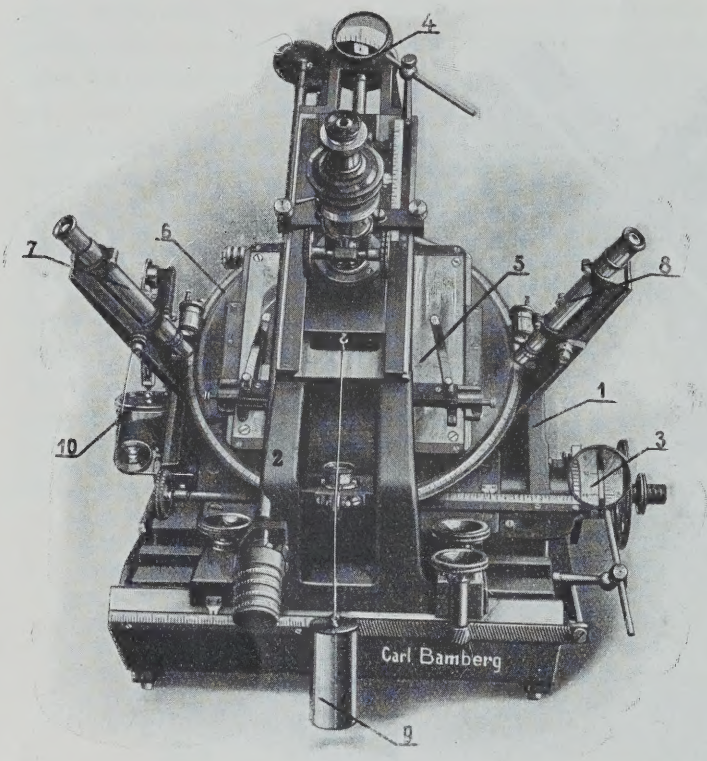


Fig 29. Universalmeßapparat große Type.
1. Hauptkörper. 2. Mikroskoparm. 3. Horizontale Meßschraube. 4. Vertikale Meßschraube. 5. Plattentisch. 6. Positionskreis. 7. und 8. Ablesemikroskope 9. und 10 Gegengewichte.

Erwähnt sei noch, daß sämtliche Meßapparattypen der vorgenannten Form mit ein und demselben Mikroskop ausgerüstet sein können. Bei den Askaniawerken A. G. geschieht diese Ausrüstung mit einem mittleren Mikroskop mit auswechselbarer Optik, die je nach Wahl eine 3- bis 150 fache Vergrößerung des Objektes zuläßt. Die in der Okularbrennebene zur Pointierung dienenden Spinnfädennetze sind sowohl in Position als auch im gegenseitigen Abstande verstellbar eingerichtet. Zwei symmetrisch in den Strahlengang einzuschiebende Rauchgläser gestatten das Gesichtsfeld einzuengen und etwa störendes Nebenlicht dem messenden Auge fernzuhalten.

Nach den gesammelten Erfahrungen halte ich die letztbeschriebene Apparattype für das Universalinstrument eines wissenschaftlichen Laboratoriums. Für weniger exakte Messungen und geringere Ansprüche kämen dann Instrumente in Frage, die in meiner früheren Abhandlung „Zwei neue Meßapparate“[1]) beschrieben sind.

---

[1]) *Diese Zeitschr.* **43.** *S. 228. 1923.*

Bei Verwendung dieser großen Meßapparate kann nicht oft genug auf die außerordentlich hohen Ansprüche an die Meßschraube hinsichtlich ihrer fehlerfreien Ausführung und Lagerung hingewiesen werden. Grundsätzlich sind, wie schon erwähnt, derartige Messungen großer Distanzen ohne Vergleichsmöglichkeit mit einem Normalmaßstab zu verwerfen. Der Vergleich der oben angeführten Messung einer längeren Mikrometerschraube von 300 mm Meßbereich mag aber immerhin zeigen, wie weit die heutige Feinmechanik die Genauigkeit treiben kann.

Die Tätigkeit der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt im Jahre 1924.

(Fortsetzung von S. 156.)

58. Widerstandsnormale[1]). Da die Zahl der Prüfungen von Präzisionswiderständen gegenüber den vorhergegangenen Jahren auf mehr als das Doppelte gestiegen ist, konnten die sonst jährlich vorgenommenen Anschlüsse der Manganinnormale an die Widerstandseinheit der Reichsanstalt im verflossenen Jahre nicht ausgeführt werden.

59. Ohmrohre[1]). Die Untersuchungen an den Ohmrohren, die sich urspiünglich nur auf die 5 neuen Rohre und die beiden früher als Hauptnormale benutzten Rohre XI und XIV erstreckten, wurden noch auf das alte Rohr 114, das zu diesem Zwecke neu abgeschliffen werden mußte, sowie die beiden alten Rohre 106 ($^1/_2$ Ohm) und 131 (2 Ohm) ausgedehnt, so daß im ganzen 10 Rohre untersucht wurden.

Die Messungen sind bis auf die Kontrolle einiger Rohrlängen durch Abt. I abgeschlossen. Soweit die Längen der Rohre bereits bekannt sind, ergeben sie bis auf wenige Hunderttausendstel übereinstimmende Werte für das int. Ohm.

Im Verlauf der elektrischen Messungen wurde eine Erscheinung gefunden, daß bei längerer Berührung der in den kugelförmigen Endgefäßen eingeschmolzenen Platindrähte mit Quecksilber sich das Platin mit einem gelben bzw. blauen Überzug bedeckt, wodurch ein Übergangswiderstand hervorgerufen wird, der so groß werden kann, daß überhaupt kein Strom mehr zustande kommt. Sind diese Übergangswiderstände schwankend, oder von der Stromrichtung abhängig, oder an den beiden Enden der Rohre verschieden, so können die Messungen hierdurch fehlerhaft werden. In der Tat wurden bei einigen Füllungen unerklärliche Abweichungen von einigen Hunderttausendsteln beobachtet, die nicht mehr auftraten, als die Zuführungsdrähte vor jeder Füllung frisch mit Natriumamalgam amalgamiert wurden. Zur größeren Sicherheit wurden dann auch vor jeder Messung außerdem die Übergangswiderstände sämtlicher Zuführungsdrähte in den Endgefäßen der Rohre geprüft. Eine Messung des Übergangswiderstandes in länger benutzten Endgefäßen, bei denen sich ein Überzug auf dem Platin gebildet hatte, zeigte Unterschiede beim Wechsel der Stromrichtung. Diese Überzüge sind sehr schwer zu entfernen, da sie selbst von Königswasser nicht angegriffen werden und nur auf elektrolytischem Wege beseitigt werden können. Die Natur dieser Erscheinung wird besonders untersucht.

60. Normalelemente[1]). Die Versuche über ein Normalelement von geringer Spannung haben bisher zu einem brauchbaren Ergebnis noch nicht geführt.

61. Konstanz der Selbstinduktionsnormale[3]). Aus den im vorigen Tätigkeitsbericht mitgeteilten elektrischen Messungen ergab sich, daß die Selbstinduktionen der Ohmspulen unter der Annahme, daß die Drahtwiderstandseinheit der Reichsanstalt seit 1913 konstant geblieben ist, folgende Änderungen erlitten haben:

		Spule A	Spule B	Spule C
$\Delta L_{\text{int.}}$	1923—1913	$+0{,}3\cdot 10^{-5}$	$-2{,}3\cdot 10^{-5}$	$-2{,}6\cdot 10^{-5}$

Um festzustellen, inwieweit diese Änderungen auf eine Veränderung der Marmorkerne allein oder auch auf eine Änderung der Drahtwiderstandseinheit (Manganinbüchsen) zurückzuführen sind, wurden

---

[1]) v. Steinwehr, A. Schulze.
[2]) v. Steinwehr. [3]) Grüneisen, Giebe.

die mittleren Durchmesser der Spulen mit dem Komparator neu bestimmt. Dabei ergaben sich folgende Durchmesseränderungen gegen 1913—1914:

	Spule A	Spule B	Spule C
$\Delta D = \Delta L_{abs.}$	$+1{,}6 \cdot 10^{-5}$	$-0{,}1 \cdot 10^{-5}$	$-2{,}4 \cdot 10^{-5}$, .

welche unter der Voraussetzung, daß die Änderungen der Marmorkerne isotrop erfolgt sind, mit den Änderungen der Selbstinduktionen übereinstimmen müssen. Die Unterschiede zwischen $\Delta L_{abs.}$ und $\Delta L_{int.}$ sind zwar nur geringfügig, scheinen aber doch eine Änderung der Drahtwiderstandseinheit während des letzten Jahrzehnts anzudeuten im Betrage von

	Spule A	Spule B	Spule C	im Mittel
$\Delta L_{abs.} - \Delta L_{int.} =$	$+1{,}3 \cdot 10^{-5}$	$+2{,}2 \cdot 10^{-5}$	$+0{,}2 \cdot 10^{-5}$	$+1{,}2 \cdot 10^{-5}$.

Eine Bestätigung dieser Zahl durch die Ausmessung der neuen Ohmrohre steht noch aus.

62. Frequenzskala elektrischer Schwingungen[1]. Die Arbeiten zur Aufstellung einer genauen Frequenzskala bei sehr hohen Frequenzen ($n > 3 \cdot 10^5$ sec^{-1}, $\lambda < 1000$ m) sind fortgesetzt. Bis zu Frequenzen von etwa 10^6 sec^{-1} ($\lambda = 300$ m) wurden dieselben beiden Verfahren wie früher bei niedrigeren Frequenzen angewandt, nämlich 1. Berechnung nach Thomsons Formel, 2. Eichung mit Hilfe von harmonischen Oberschwingungen. Die Übereinstimmung der nach beiden Verfahren ermittelten Absolutwerte beträgt bei $n = 10^6$ sec^{-1} etwa 0,5 ‰. Mit zunehmender Frequenz wird das Verfahren 1. immer ungenauer; bei $n > 10^6$ sec^{-1} wurde nur noch die zweite Methode angewandt. Statt, wie früher, die Oberschwingungen dem Anodenkreis eines Röhrensenders zu entnehmen, erwies es sich bei sehr hohen Frequenzen, wo die Oberschwingungen des Senders in höheren Ordnungen oft zu geringe Intensität besitzen, als zweckmäßiger, zwei Röhrensender zu benutzen und die Grundschwingung des einen akustisch nach der Schwebungsmethode auf eine Reihe aufeinanderfolgender Oberschwingungen des anderen Senders abzustimmen, dessen konstant gehaltene Grundfrequenz nach der bereits festgelegten Frequenzskala bis auf wenige Zehntel Promille meßbar ist. Bei der höchsten bisher gemessenen Frequenz ($n = 1{,}5 \cdot 10^7$ sec^{-1}, $\lambda = 20$ m) dürfte die Genauigkeit des Absolutwertes wenige Promille betragen, bedarf aber noch der Kontrolle durch direkte Messungen der Länge stehender Wellen längs Drähten. Für die dauernde Aufrechterhaltung einer Frequenzskala bei den höchsten Frequenzen sind geeignete Normalkondensatoren neu konstruiert und in der Herstellung begriffen.

63. Fernmessung der Frequenz elektrischer Wellen[1]. Die störungsfreie Abwicklung des Betriebes der drahtlosen Telegraphie und Telephonie erfordert sehr genaue Messungen der Betriebsfrequenz (-Wellenlänge) der Sendestationen. Da die Technik zurzeit noch nicht über hinreichend zuverlässige Frequenzmesser verfügt, wurden in der Reichsanstalt mit Hilfe des neuen Normalfrequenzmessers vielfach während des Berichtsjahres Fernmessungen der Betriebsfrequenzen von Stationen ausgeführt, so auf Antrag der Gesellschaft Drahtloser Überseeverkehr A.-G. für die Stationen Nauen und Eilvese, ferner für einen Sender des Telegraphentechnischen Reichsamts im Frequenzbereich der Rundfunkstationen. Für solche Fernmessungen wird jetzt an Stelle der Methode von Alberti und Leithäuser[2]), die sich als nicht genau genug erwies, die Schwebungsmethode angewandt unter Benutzung eines Hilfssenders größerer Leistung (75 Watt) als Überlagerers. Dabei wird nicht auf das Verschwinden des Schwebungstones im Empfangstelephon eingestellt, sondern zuerst mit höherer, sodann mit niedrigerer Frequenz überlagert, so daß in beiden Fällen die Höhe des Schwebungstones die gleiche ist. Die beiden Frequenzen des Überlagerers werden mit dem Normalfrequenzmesser gemessen, ihr Mittel ergibt die zu bestimmende Betriebsfrequenz der eingestellten Station. Die Genauigkeit derartiger Fernmessungen wurde u. a. in folgender Weise kontrolliert: Zwei verschiedene Betriebsfrequenzen der Station Nauen wurden 1. durch Fernmessung bestimmt, 2. durch Messung der Umdrehungszahl der Nauener Maschinen über eine Drahtleitung zwischen Nauen und Reichsanstalt mit Hilfe von Normaluhr und Chronograph der Reichsanstalt. Die Ergebnisse beider Messungen stimmten innerhalb 0,1 bis 0,2 ‰ miteinander überein.

---

1) Giebe, Goens.

2) Vgl. den Tätigkeitsbericht für 1923, *Ztschr. f. Instrkd.* **44.** *S. 92. 1924.*

64. Internationale Frequenzmessungen[1]).

Im April und Mai wurden an zwei Tagen jeder Woche im Bureau of Standards (BoS), Washington, im National Physical Laboratory (NPL), Teddington, und in der Reichsanstalt (PTR) gleichzeitig Fernmessungen der Betriebsfrequenzen einer größeren Anzahl von Funkenstationen ausgeführt zu dem Zwecke, die Normalfrequenzskalen der drei Institute miteinander zu vergleichen. Die in der Reichsanstalt dabei angewandte Methode ist unter Nr. 62 beschrieben.

Von NPL und PTR liegen 66 gleichzeitige Messungen vor, von PTR und BoS 50, von NPL und BoS 86 Messungen. Bildet man für jede der gemessenen Stationen (Frequenz) die Mittelwerte Δ der relativen Differenzen zwischen den in je zwei Laboratorien ausgeführten Messungen (Anzahl z), so erhält man die in der folgenden Tabelle zusammengestellten Zahlenwerte. Dabei sind Einzeldifferenzen δ von mehr als $1\,^0/_0$ nicht mit berücksichtigt.

	NPL—PTR		PTR—BoS		NPL—BoS	
	z	Δ	z	Δ	z	Δ
		$\times 10^{-4}$		$\times 10^{-4}$		$\times 10^{-4}$
St. Assise . . . . $n = 15240$	4	0	6	− 17	5	− 19
Nauen . . . . $n = 16590$	6	+ 14	2	− 27	2	− 26
Annapolis . . . . $n = 17460$	4	+ 7	4	− 51	7	− 48
Tuckerton . . . . . . $n = 18795$	2	0	2	− 24	9	− 27
Eilvese . . . . $n = 20440$	6	+ 1	2	− 42	1	− 31
St. Assise . . . . $n = 20720$	5	0	5	− 12	7	− 11
Carnarvon . . . . . . $n = 21280$	6	+ 4	8	− 10	9	− 8
New Brunswick . . . . $n = 22110$	3	+ 3	3	− 7	9	− 6
Nauen . . . . $n = 23265$	8	− 1	7	+ 1	9	− 4
Leafield . . . . $n = 24340$	4	+ 9	4	− 5	11	+ 11
Marion . . . . $n = 25750$	3	0	3	+ 4	6	+ 10
Nantes . . . . $n = 33300$	1	− 8				
Nauen . . . . $n = 45960$	3	− 1				
Königswusterhausen . . $n = 56760$	4	+ 1				
Königswusterhausen . . $n = 74780$	3	+ 1				

Berechnet man denjenigen Prozentsatz aller Messungen je zweier Laboratorien, welche Differenzen δ zwischen 0 bis $1\,^0/_{00}$, 1 bis $2\,^0/_{00}$ usw. aufweisen, so ergibt sich folgendes:

	$\delta = 0-1\,^0/_{00}$	$\delta = 1-2\,^0/_{00}$	$\delta = 2-10\,^0/_{00}$	$\delta > 10\,^0/_{00}$
für NPL—PTR	$79\,^0/_0$	$9\,^0/_0$	$6\,^0/_0$	$6\,^0/_0$
für PTR—BoS	$52\,^0/_0$	$14\,^0/_0$	$28\,^0/_0$	$6\,^0/_0$
für NPL—BoS	$40\,^0/_0$	$19\,^0/_0$	$33\,^0/_0$	$8\,^0/_0$

Da für NPL und PTR $79\,^0/_0$ aller Messungen innerhalb $1\,^0/_{00}$ übereinstimmen und nach der Tabelle auch keine systematischen Abweichungen auftreten, so dürften auch die Frequenzstandards dieser beiden Anstalten innerhalb $1\,^0/_{00}$ übereinstimmen. Dagegen betragen die mittleren Differenzen in der Tabelle für PTR—BoS und NPL—BoS in dem Bereich von etwa $n = 15000$ bis $20000\ \mathrm{sec}^{-1}$ einige Promille und sind fast ausschließlich negativ; nur $52\,^0/_0$ bzw. $40\,^0/_0$ aller Einzelmessungen stimmen innerhalb $1\,^0/_{00}$ überein. Die Genauigkeit der Frequenzstandards beträgt im BoS nach den dortigen Angaben $0{,}1\,^0/_0$, in der PTR 0,01 bis $0{,}02\,^0/_0$, von NPL sind der Reichsanstalt keine Genauigkeitsangaben mitgeteilt. Das BoS führt jene Differenzen auf Fehler der Fernmessung zurück; für die Beobachtungen der PTR sind jedoch diese Fehler nach den unter Nr. 62 mitgeteilten Erfahrungen verhältnismäßig sehr klein. Die Messungen werden mit Rücksicht auf das bisherige nicht sehr befriedigende Ergebnis im März wiederholt.

65. Nullmethode zur Messung des Wirkwiderstandes von Spulen bei höheren Frequenzen[2]).

Die bereits früher beschriebene[3]) Resonanzbrücke von Grüneisen und Giebe wurde zur Bestimmung des Wirkwiderstandes von Spulen benutzt. Die zu untersuchende Spule (Selbst-

[1]) Giebe, Alberti, Leithäuser als Gast.

[2]) Giebe, Goens.

[3]) E. Grüneisen u. E. Giebe, *Ztschr. f. Instrkde.* **30.** *S. 147. 1910;* **31.** *S. 152. 1911.*

induktion L, Wirkwiderstand r_1) bildet in Reihe mit einem variablen, verlustfreien Kondensator (Kapazität C) einen Zweig einer mit Wechselstrom der Schwingungszahl n gespeisten Brückenanordnung, die übrigen drei Zweige bestehen aus reinen Ohmschen Widerständen r_2, r_3, r_4 (dünne, bifilar gespannte Manganindrähte). Das Nullinstrument im Brückenzweige, ein Kristalldetektor mit Galvanometer, ist stromlos, wenn durch entsprechende Einregulierung von C und eines der Ohmschen Widerstände $r_1 \cdot r_4 = r_2 \cdot r_3$ und $4\pi^2 n^2 L C = 1$ gemacht ist. Ersetzt man den Wechselstrom durch Gleichstrom, L und C durch einen Dekadenwiderstand, gleicht diesen bei unveränderten r_2, r_3, r_4 so ab, daß der Brückenzweig wieder stromlos ist, so ist der substituierte Widerstandsbetrag gleich dem Wirkwiderstand der Spule für die Frequenz n.

Die Messungen erstreckten sich bis zu Frequenzen von 10^6 sec^{-1}, als Wechselstromquelle diente ein Röhrensender, die Brücke lag in einem mit dem Schwingungskreis des Senders lose gekoppelten Sekundärkreise, der auf die Grundwelle des Senders abgestimmt war. Durch Erdung der Brücke, geeignete Anbringung geerdeter Schutzhüllen und Aufstellung des Senders in großer Entfernung von der Brücke konnten störende Kapazitätswirkungen völlig vermieden werden.

Die Methode hat gegenüber den von Bjerknes und von Lindemann angegebenen folgende Vorzüge: 1. sie erfordert keine Strommessung, ist daher unabhängig von Stromschwankungen, 2. sie besitzt größere Empfindlichkeit, 3. sie gestattet, die Resultate ohne weitere Rechnung abzulesen, 4. können die Resultate nicht durch zu starke Koppelung gefälscht werden.

Wie Versuche zeigten, ist sie auch zur Bestimmung des Verlustwiderstandes von Kondensatoren verwendbar.

66. Die Messung der Bremskräfte von Magneten[1].

Der Apparat zur Messung der Bremskräfte von Magneten, dessen Wirkungsweise im letzten Tätigkeitsbericht beschrieben war, ist fertiggestellt und hat nach den bisherigen Versuchen durchaus befriedigende Ergebnisse geliefert. Die Versuche werden fortgesetzt.

67. Eichung von Dosismessern für Röntgenstrahlen[2].

Das von der Reichsanstalt ausgearbeitete Verfahren zur absoluten Röntgendosisbestimmung wurde auf dem 15. Röntgenkongreß in Berlin am 27. bis 29. April 1924 von der Deutschen Röntgen-

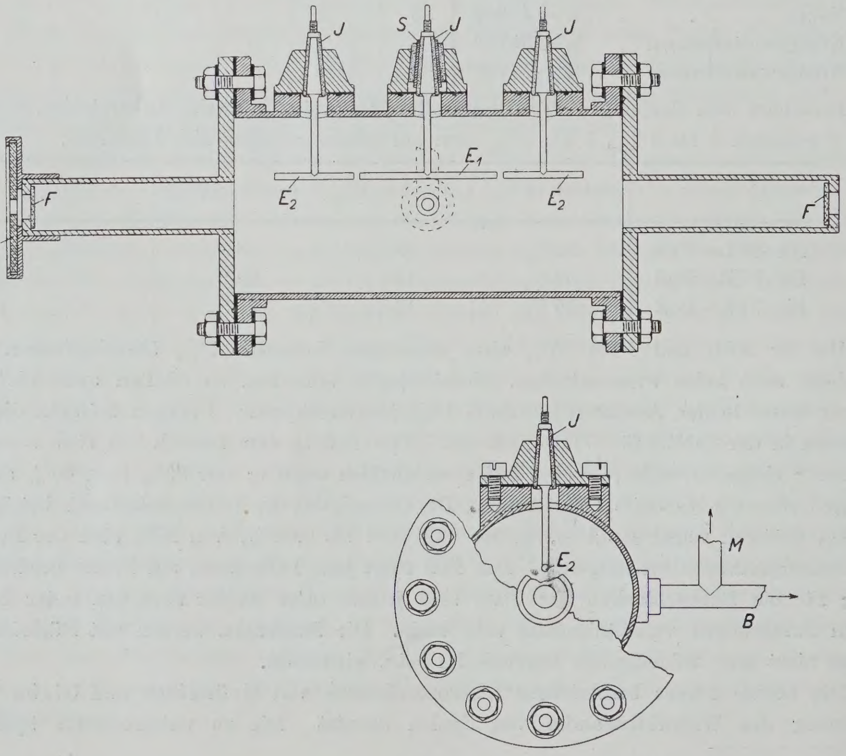


Fig. 5.

[1]) Schmidt. [2]) Behnken.

gesellschaft angenommen und ist damit in die medizinische Praxis eingeführt. In Gemeinschaft mit der Deutschen Röntgengesellschaft wurde der Definition der absoluten Einheit der Röntgenstrahlendosis in nur formaler Abweichung von der ersten Fassung folgender Wortlaut gegeben:

„Die absolute Einheit der Röntgenstrahlendosis wird von der Röntgenstrahlenenergiemenge geliefert, die bei der Bestrahlung von 1 ccm Luft von 18° C Temperatur und 760 mm Quecksilberdruck bei voller Ausnutzung der in der Luft gebildeten Elektronen und bei Ausschaltung von Wandwirkungen eine so starke Leitfähigkeit erzeugt, daß die bei Sättigungsstrom gemessene Elektrizitätsmenge eine elektrostatische Einheit beträgt. Die Einheit der Dosis wird 1 „Röntgen" genannt und mit „R" bezeichnet."

Die Erweiterung des Eichbereiches für Dosismesser auf härtere Strahlen (bisher etwa 200 kV Röhrenspannung bei 1 mm Kupferfilterung) ließ sich in verhältnismäßig einfacher Weise dadurch erreichen, daß die Form der Druckkammer etwas abgeändert wurde. Es zeigte sich nämlich, daß die bei sehr harten Strahlen beobachtete Abweichung von der Proportionalität zwischen der gemessenen Ionisierung und dem in der Kammer herrschenden Druck im wesentlichen durch die von dem Eintritts- und Austrittsfenster der Kammer ausgehende diffuse Sekundärstrahlung hervorgerufen wird. Um diese diffuse Strahlung von dem eigentlichen Meßraum möglichst fernzuhalten, wurden deshalb nach dem Vorbilde von Otto Berg, Werner Schwerdtfeger und Rudolf Thaller[1]) die Fenster nicht mehr unmittelbar auf den Deckeln der Kammer angebracht, sondern an die Enden von 8 cm langen, auf die Deckel aufgesetzten Röhren verlegt (vgl. Fig. 5). Hierdurch wurde erreicht, daß schon bei Drucken von etwa 6 Atmosphären an aufwärts auch bei den härtesten praktisch in Betracht kommenden Strahlen (220 kV, 2 mm Cu.) völlige Proportionalität zwischen Ionisation und Druck vorhanden war, womit die Eichung bis auf weiteres allen praktischen Anforderungen genügen dürfte.

68. Die elektrostatische Anziehung bei festen Isolierstoffen[2]).

Das Coulombsche Gesetz der elektrostatischen Anziehung zweier Kondensatorplatten erleidet, wie durch Rechnung und Versuche gezeigt wird, bei einem festen Isolierstoff als Dielektrikum eine scheinbare Änderung. Liegt die Elektrode — wie es im allgemeinen stets der Fall ist — nur an wenigen Punkten wirklich berührend auf der Isolierplatte auf, so bewirkt die Luftschicht, die an den anderen Punkten Isolierstoff und Elektrode trennt, daß bei einem hochisolierenden Dielektrikum, wie z. B. Schwefel, die Anziehungskraft bei Gleich- und Wechselspannung beliebiger Frequenz größer ist, als bei einem Flüssigkeitsmedium gleicher Dielektrizitätskonstante, und zwar um einen Faktor, der nahezu gleich der Dielektrizitätskonstanten ist. Die Anziehungskraft ist nur wenig von der Dicke der Luftschicht abhängig, solange diese klein ist. Bei einem im Innern hochisolierenden Dielektrikum, wie Minosglas, das aber auf der Oberfläche nicht vollkommen isoliert, gilt bei Wechselspannung die gleiche Beziehung wie im vorhergehenden Fall, bei Gleichspannung hingegen verschwindet die Anziehungskraft. Bei einem halbleitenden Medium, wie Schiefer, wird die Anziehungskraft bei Gleichspannung und Wechselspannung niedriger Frequenz sehr groß, da durch die Leitung die Oberfläche des Halbleiters gegen die Elektrode nahezu auf die volle angelegte Spannung aufgeladen wird (Johnson-Rahbek-Effekt). Die Anziehungskraft ist im wesentlichen abhängig von der Dicke der Luftschicht, aber fast unabhängig von den elektrischen Eigenschaften des Mediums und seiner Dicke. Bei höherer Frequenz nimmt die Anziehungskraft stark ab; die Aufladung der Oberfläche durch Leitung kann dem schnellen Wechsel der Spannung nicht folgen.

Bei gewöhnlichem Glas kann man durch Temperaturänderung die Leitfähigkeit in weiten Grenzen variieren und die charakteristischen Eigenschaften der Anziehung in dem Gebiete zwischen geringer und starker Leitung zur Darstellung bringen. Die Arbeit ist veröffentlicht. (Anh. 1, Nr. 29.)

69. Fehlerquellen der Bestimmung der Dielektrizitätskonstante (DK) fester Stoffe[3]).

Prüfungsanträge und Messungen der DK für eigenen Bedarf gaben Veranlassung, über die Fehlerquellen sich Rechenschaft zu geben.

Bei Stoffen, die nicht hervorragend isolieren oder die dielektrische Verluste haben, ist die Kapazität eine Funktion der Frequenz (z. B. bei hochwertigem Porzellan[4]) bei 800 per/s um 2%

---

[1]) *Wissensch. Veröffentl. a. d. Siemens-Konzern III, S. 162 ff. 1924.*

[2]) Schering, Schmidt. [3]) Schering.

[4]) Burmester, *Arch. f. Elektrot.* ***13.*** *S. 152. 1924.*

kleiner als bei 50 per/s), die DK oder besser der Dielektrizitätsfaktor (DF) ist daher nicht mit dem rotierenden Unterbrecher, sondern in der Wechselstrombrücke bei der Frequenz der Anwendung zu messen.

Die günstigste Anordnung ist der Schutzringkondensator, wenn die vom Schutzring umgebene Elektrode und ihre Zuleitung so gegen spannungführende Teile abgeschützt sind (vgl. Nr. 70), daß in die Messung nur die Stromlinien des nahezu homogenen Feldes zwischen den Elektroden eingehen, als einzige Korrektion ist u. U. nur die geringfügige wegen der Spaltbreite anzubringen.

Der Einfluß der Dickenschwankung der Isolierplatte und der Fehler in der Bestimmung der Abmessungen und der Kapazität wurde berechnet für die beiden Fälle, daß eine Luftschicht zwischen Elektroden und Isolierstoff sich befindet, und daß die Elektroden dicht am Isolierstoff anliegen, in letzterem Falle ist der Störungseinfluß erheblich geringer. Die Hauptschwierigkeit besteht in dem Aufbringen der Belegungen. Stanniolblätter müssen mit einem fremden Stoff zum Haften gebracht werden, womit eine neue Fehlerquelle hineinkommt. Bei glatten, nicht hygroskopischen, keramischen Stoffen hat sich Versilbern mit der bekannten Versilberungslösung bewährt, der Trennring, welcher Schutzring und geschützte Elektrode isoliert, kann ausgeschabt oder mit Hilfe eines Wachsüberzuges ausgeätzt werden. Für nicht spiegelglatte Stoffe, namentlich für organische Stoffe und Folien, ist ein Bespritzen mit Zink nach dem Schoopschen Verfahren[1]) das geeignetste. Durch Aufsetzen eines niedrigen Abschnittes eines weiten Messingrohres beim Bespritzen wird der Trennring ausgespart. Durch Bespritzen der Hand wurde festgestellt, daß der auftretende Zinkstrahl keine Erhitzung bewirkt.

70. Messung kleiner Kapazitäten in der Brücke[2]).

Sie wurde bisher meist durch Substitution ausgeführt, die dabei erreichbare Genauigkeit ist begrenzt durch die Änderung der Kapazität der Zuleitung bei ihrem Abtrennen von der zu messenden Kapazität, d. h. auf etwa 0,1 $\mu\mu$F. Das folgende Verfahren, welches besonders für die Messung der Dielektrizitätskonstante und des Verlustwinkels an kleinen Proben ausgebildet ist, gestattet sehr viel weiter zu kommen (Fig. 6). C_a ist ein Schutzringkondensator, völlig von einem geerdeten Gehäuse umgeben, der Schutzring schließt an das Gehäuse an. C_b ein Vergleichsluftkondensator mit zwei isolierten Plattensystemen kleiner Kapazität (47,4 $\mu\mu$F), umgeben von einem geerdeten Gehäuse; C_p und C_q Glimmerkondensatoren (0,1 bis 1 μF), von denen C_q veränderlich ist. Die Spannungsquelle in mehreren Metern Abstand von der Brücke ist mit der einen Klemme geerdet, die Spannung der anderen Klemme wird durch ein geerdetes Rohr den Kondensatoren C_a und C_b zugeführt. Da alle die Klemmenspannung gegen Erde führenden Teile eingehüllt sind, gehen im Zweige a nur die Stromlinien in die Messung, welche von der spannungführenden Platte zu der gegenüberliegenden Fläche der vom Schutzring umgebenen Elektrode gehen. Bei sorgfältiger Herstellung des Schutzringkondensators ist dessen Kapazität für Luft als Medium sehr genau berechenbar. Ebenso geht im Zweig b nur die Kapazität der Plattensysteme gegeneinander ein. Die Erdkapazität der vom Schutzring umgebenen Elektrode von a bzw. des nicht an der Spannungszuführung liegenden Systems von b liegt den Kondensatoren C_p bzw. C_q parallel, ist aber bei deren Größe meist vernachlässigbar oder eine geringe, leicht bestimmbare Korrektion. (Auch diese könnte man mit der Erdung im Hilfszweig nach K. W. Wagner ausschalten.)

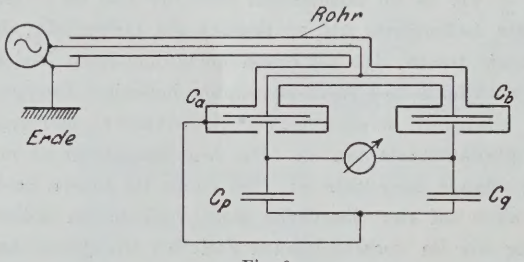


Fig. 6.

Bei einem Kreisplattenkondensator aus Messing von 15 cm Durchmesser war der Schutzring mit der geschützten Elektrode isoliert fest verbunden und zusammen abgedreht. Die mittleren Durchmesser D_a und D_i des Spaltringes waren nach Messungen des Laboratoriums Id 5,096 und 4,989 cm, demnach $R = 2{,}521$ cm, die halbe Spaltbreite 0,026 cm. Auf den Schutzring wurden drei geschliffene Quarzstücke von 0,1972, 0,1972, 0,1973 cm größter Dicke gelegt und die geschliffene Gegenelektrode aufgesetzt. Die Kapazität C_p berechnet sich hiernach zu $8{,}96_1$ interna-

[1]) Die Lohnspritzerei Meurer A.-G., Berlin-Neukölln, Lahnstr. 30, führt solche Arbeiten aus.

[2]) Schering.

tionale $\mu\mu$F. Gemessen wurde bei 1000 per/s und 300 V mit dem Kondensator $C_b = 47{,}4_1$ $\mu\mu$F eine Kapazität $C_a = 8{,}95$ intern. $\mu\mu$F.

Diese Brücken-Anordnung gestattet den Dielektrizitätsfaktor und bei Reihen- oder Parallelschaltung eines Widerstandes zu C_p auch den Verlustwinkel von Isolierstoffen von sehr tiefen bis zu sehr hohen Frequenzen, bei im wesentlichen unveränderter Anordnung zu messen.

71. Untersuchung von Isolierstoffen bei Erhitzung[1].

Mit der im vorigen Abschnitt beschriebenen Brücke wurden Isolierstoffe wie Glas, Marmor, Glimmer bei den Frequenzen 10 000 — 1000 — 100 — 10 per/s bei Erhitzung untersucht und der Gleichstromwiderstand 1 Minute nach dem Anlegen der Spannung gemessen. Das Ergebnis der Wechselstrommessung ist als Kapazität C parallel mit einem Widerstand R dargestellt, außerdem ist der Tangens des Verlustwinkels δ berechnet. Die Elektroden waren durch Metallbestäubung aufgebracht, die eine davon als Schutzringelektrode (wirksamer Radius R) ausgebildet.

Als Beispiel seien die Ergebnisse an Marmor wiedergegeben.

Marmor.

$h = 0{,}26$ cm, $R = 4{,}1$ cm, $E = 300$ V, C in $\mu\mu$F, R in 10^8 Ohm

Frequenz	10000	1000	100	10	=	Temperatur
C	79,7	80,8	81,5	85,0		
R	>1	3,9	9,5	23,0	3500	113°
tg δ	0,000	0,005	0,020	0,081		
C	83,6	83,7	89,0	111,8		
R	0,07	0,60	1,47	3,6	490	182°
tg δ	0,026	0,032	0,118	0,39		
C	84,6	89,4	115,7	358,2		
R	—	0,10	0,17	0,30	15	267°
tg δ	—	0,176	0,60	1,44		
C	84,8	98,7	196,5	821		
R	0,025	0,033	0,055	0,108	0,70	340°
tg δ	0,073	0,49	1,45	1,78		

Mit der Temperatur wächst die Kapazität bei hoher Frequenz nur wenig, bei tiefer Frequenz sehr stark, der Parallelwiderstand nimmt stark ab, er ist bei Wechselstrom erheblich kleiner als bei Gleichstrom, bei hoher Frequenz niedriger als bei tiefer. Durch die Erhitzung werden die Ionen leichter beweglich. Warburg, Günther-Schulze u. a. haben bei erhitztem Glas festgestellt, daß bei Gleichstrom infolge der Leichtbeweglichkeit der Na-Ionen und der Schwerbeweglichkeit der SiO_2-Ionen eine schlechtleitende Schicht an der Anode entsteht. Auf dasselbe deuten die Versuche von A. Joffé[2]) mit Gleichspannung an Kalkspat, bei dem er eine Raumladung an der Kathode annimmt. Bei Wechselstrom hinreichend tiefer Frequenz wird sich diese Grenzschicht in jeder Halbperiode neu bilden und verschwinden, was sich durch eine scheinbare Kapazitätserhöhung offenbart, diese muß um so stärker werden, je größer die Beweglichkeit der einen Ionenart wird, d. h. je höher die Temperatur ist. Glas, Porzellan und bei entsprechend höheren Temperaturen Glimmer verhalten sich analog.

72. Die Messung des dielektrischen Verlustfaktors an langen Kabeln[3]).

Mit der im Tätigkeitsbericht des Vorjahres Nr. 60 beschriebenen Brücke mit Nebenschluß konnten dank dem Entgegenkommen des Kabelwerkes der Siemens-Schuckertwerke Messungen des Verlustfaktors an einer Anzahl Kabelstücke von kleiner bis zu großer Länge vorgenommen werden; sie erwiesen die Zuverlässigkeit der Methode. Das Meßbereich der Brückenanordnung wurde noch mehr erweitert durch einen von dem Brückenkasten abgetrennten äußeren Nebenschluß n, der für beliebig große Stromstärken gebaut werden kann, so daß die Messung an beliebig langen Kabeln ausführbar ist.

---

[1]) Schering und Schmidt.

[2]) *Ann. d. Phys.* **72.** *S. 461. 1923.*

[3]) Schering.

73. Transportabler Vergleichskondensator für Verlustmessungen an verlegten Kabeln[1].

Im Laboratorium dient als Vergleichskondensator für die Brückenmessung der Zylinder-Luftkondensator nach Petersen oder der Preßgaskondensator von Palm der Firma Hartmann & Braun A.-G., Frankfurt a. M., für Spannungen bis 20 kV auch die Minosflasche von Schott u. Gen., Jena. Für Messungen an verlegten Kabeln ist ein leicht transportabler Vergleichskondensator für hohe Spannungen erforderlich. Fünf Minosflaschen kleiner Form von je 300 $\mu\mu$F Kapazität wurden zum Ineinanderstecken eingerichtet und mit Sprühschutztrichtern (Fig. 7) versehen, die mit trockenem Öl gefüllt werden. Ein Ober- und ein Unterteil bewirken einen sprühfreien Anschluß. Der Verlustfaktor dieses Kondensators betrug bis zu 100 kV $\cos \varphi =$ 0,0013 und war von der Spannung nicht abhängig. Bei mehrtägigem Stehen nimmt aber das Öl Feuchtigkeit aus der Luft auf und der Verlustfaktor steigt.

Zum Transport läßt sich der Kondensator in seine Teile auseinandernehmen, die auf kleinem Raum verpackt werden können. Der fertige Kondensator ist von Schott & Gen. Jena zu beziehen.

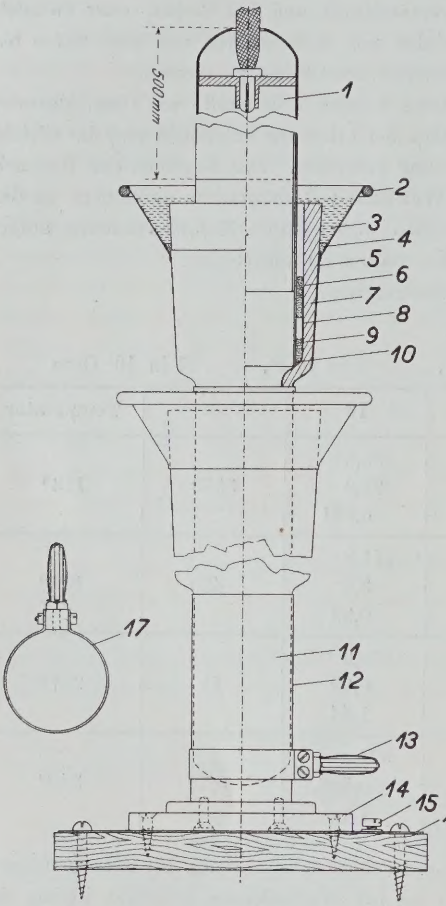


Fig. 7.
1. Sprühfreies Oberteil für Metallschlauch-Anschluss. 2. Messingrohr mit Wulst. 3. Öl. 4. und 6. Woodsches Metall. 5. Äußere Belegung. 7. Glas. 8. Innere Belegung. 9. Stoffpackung. 10. Messingrohr. 11. Unterteil. 12. Messingrohr. 13. Stecker zur Brücke. 14. Hartpapier. 15. Erdungsklemme. 16. Blech. 17. Schelle mit Stecker.

74. Das Kabelphantom[1].

Für die Untersuchung von Kabeltränkmassen und Ölen auf ihren dielektrischen Verlustwinkel bei Hochspannung wurde ein Zylinderkondensator hergestellt, der einem Einleiterkabel nachgebildet und mit geschützter Innenelektrode wie der Petersen-Kondensator gebaut ist. Der äußere Zylinder ist mit einem Heizband bewickelt, welches von einem für 50 kV isolierten Stromtransformator gespeist wird. Zur Messung der Temperatur der Öle ist im Innenzylinder ein Thermoelement angebracht, dessen Leitungen durch das Schutzrohr nach außen führen. Zur Isolierung der Innenelektrode hat sich besonders undurchsichtiges Bakelit bewährt. Andere Isolierstoffe, welche versucht wurden, litten durch den vereinigten Einfluß von hoher Temperatur, hoher Spannung und lösender Wirkung der Öle, Fig. 8 zeigt den Verlustwinkel einer Kabeltränkmasse in Abhängigkeit von der Temperatur bei drei Spannungen. Das Kabelphantom wird von Siemens & Halske fabriziert.

75. Glimmlichtoszillograph mit Hochfrequenzverstärker[2].

Die Unbequemlichkeit der Handhabung des Braunschen Rohres führte zu Versuchen, den Glimmlichtoszillographen zur Registrierung von Einzelvorgängen hoher Frequenz (Durchschlagsvorgänge u. ä.) zu verwenden. Der Glimmlichtoszillograph hat zwar den Nachteil, in seiner bisherigen Ausführungsform erst bei Strömen von einigen Milliampere genügend große Amplituden zu geben, so daß es z. B. nicht möglich war, den Mikrophon- oder Telephonstrom mit dem Glimmlichtoszillographen aufzunehmen. Durch die Verbindung des Glimmlichtoszillographen mit einer Verstärkeranordnung geeigneter Form wurde jedoch die Möglichkeit geschaffen, auch schwache Ströme in sehr einfacher und schneller Weise aufzunehmen.

---

[1]) Schering, Burmester.
[2]) Engelhardt, Gehrcke.

Die Fig. 9—11 zeigen einige Beispiele von mit dieser Anordnung aufgenommenen Oszillogrammen, nämlich die Schwingungen der Vokale *e* und *i* (weibliche Stimme) und des Konsonanten *ss* (männliche Stimme).

76. Kompensation der Resonanzfrequenz von Telephonen[1]).

Bei der Prüfung von Telephonen, die für Rundfunkzwecke bestimmt waren, zeigten viele ein stark ausgesprochenes Empfindlichkeitsmaximum. Solche Telephone verzerren die Klangfarbe beim Empfang. Sie können jedoch, allerdings auf Kosten der Gesamtempfindlichkeit, verbessert werden, wenn man sie mit einem aus Widerstand, Selbstinduktion und Kapazität bestehenden Nebenschluß versieht, dessen elektrische Resonanz der akustischen Resonanzfrequenz des Telephons entspricht. Der Nebenschluß hat dann bei der Frequenz, bei der das Telephon allein die größte

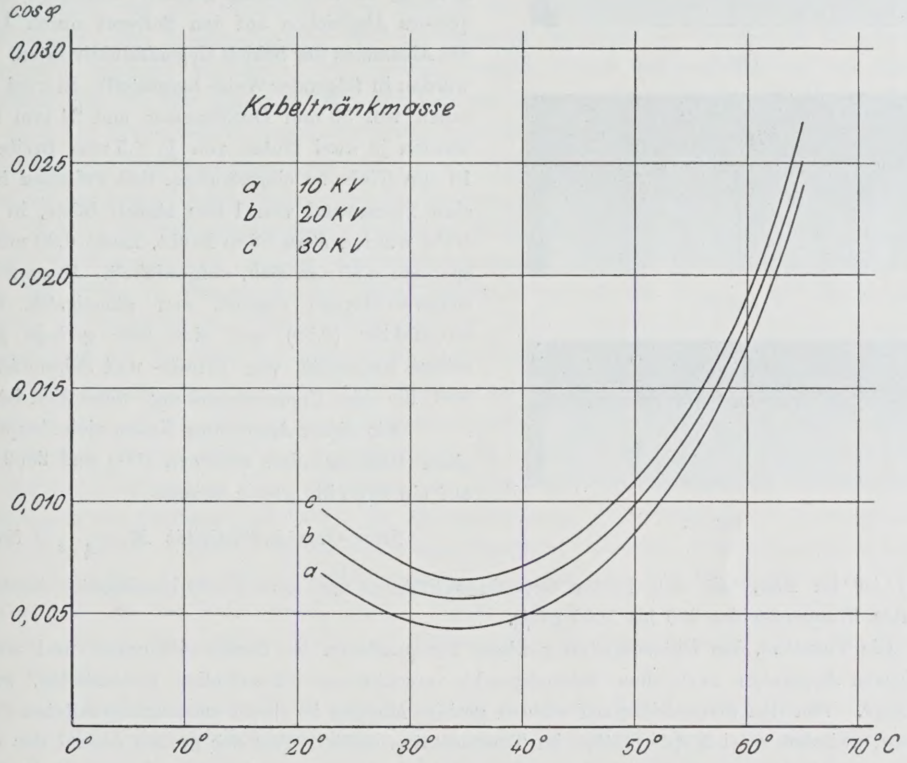


Fig. 8.

Lautstärke besitzt, den kleinsten Scheinwiderstand, schwächt den Telephonstrom also viel stärker als bei den außerhalb des Resonanzbereichs liegenden Frequenzen. Das Verfahren dürfte sich auch zur Kompensation der Resonanzfrequenzen von Lautsprechern und von Verstärkertransformatoren eignen.

77. Tonfrequenzmessung[2]).

Durchfließt ein Wechselstrom von der zu messenden Frequenz f einen Kondensator C in Reihe mit der Primärspule (Induktivität L_1) einer Gegeninduktivität M und schaltet man die Sekundärspule (Induktivität L_2) über ein Telephon in passendem Sinne gegen C, so läßt sich durch Ändern von M oder C das Telephon zum Schweigen bringen, es ist dann nach Campbell[3])

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{CM}}.$$

Campbell benutzte eine veränderbare Gegeninduktivität relativ kleinen Betrages und benötigte daher Papierkondensatoren von der Größenordnung 10 μF, um bei den üblichen Tonfrequenzen die Nulleinstellung zu bekommen; er erwähnt die Methode auch mehr beiläufig.

---

[1]) Engelhardt. [2]) Schering.

[3]) Campbell, *Proc. Phys. Soc. London.* ***31***; *Phil. Mag.* ***15***. *S. 166. 1908.*

Nach dem gleichen Prinzip wurde eine Meßanordnung gebaut aus einem Dreidekaden-Kurbelkondensator (1 bis 0,001 μF), dem noch ein Drehkondensator von 13,2 $\mu\mu$F pro pars im Bedarfsfall parallel geschaltet wurde und einer festen Induktivität $M = \frac{1}{4\pi^2} = 0{,}02533$ H. Dann wird $f = 1000/\sqrt{C}$, wobei C in μF abgelesen ist.

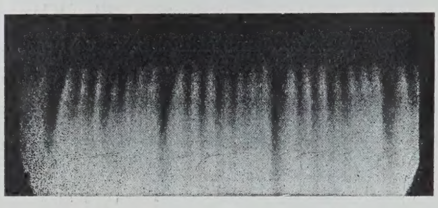


Fig. 9.

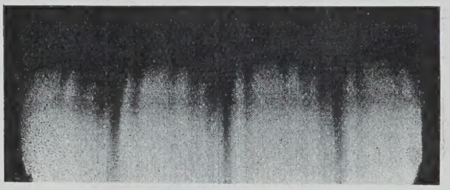


Fig. 10.

Fig. 11.

Die Gegeninduktivität wurde astatisch aus zwei Gegeninduktivitäten von etwa dem halben Betrage fest zusammengesetzt, die so in Reihe geschaltet waren, daß der Einfluß äußerer Felder sich aufhebt; die Anordnung gestattet außerdem ein bequemes Abgleichen auf den Sollwert durch Ändern des Abstandes der beiden Gegeninduktivitäten. Diese wurden in folgender Weise hergestellt. In zwei Holzrollen von 50 mm Durchmesser und 24 mm Breite wurden je zwei Nuten von je 6,5 mm Breite und 13 mm Tiefe so eingestochen, daß zwischen beiden eine Trennwand von 1 mm stehen blieb, in jeder Nute wurden etwa 83 m Draht, nackt 0,20 mm, besponnen 0,30 mm dick, aufgewickelt. Diese Dimensionsverhältnisse ergeben den günstigsten Kopplungsfaktor (0,59) und eine sehr geringe gegenseitige Kapazität von Primär- und Sekundärspule, was für die Frequenzmessung wesentlich ist.

Mit dieser Anordnung ließen sich Frequenzen eines Röhrensenders zwischen 1000 und 2000 per/s auf ein Promille genau messen.

Eine Gegeninduktivität $M = \frac{9}{4\pi^2} H$ für $f = 300/\sqrt{C}$ ist im Bau, mit den beiden Gegeninduktivitäten und dem Kurbelkondensator beherrscht man das Frequenzgebiet 300 bis 3000 per/s.

78. Messung der Erwärmung von Spulen[1]).

Die Versuche, das Überschreiten gewisser Temperaturen bei Spulenwicklungen und anderen technischen Apparaten nach dem Schmelzpunkt verschiedener Chemikalien festzustellen, wurden fortgesetzt. Von den Schmelzkörpern wurden geringe Mengen in einem zusammengefalteten Papierblättchen zwischen zwei Kupferplatten im Thermostaten erhitzt. Aus der großen Anzahl der untersuchten Chemikalien wurden diejenigen ausgewählt, welche beigefügte Spuren von Anilinfarben beim Schmelzen lösten und das Papier mit einem farbigen Schmelzfluß tränkten. Besonders charakteristische Färbungen wurden mit folgenden Körpern erhalten:

Schmelzkörper	Farbstoff	Schmelzpunkt	Farbe
Vanillin	Eosin	82°	rosa
Äthylharnstoff	Eosin + Metanilgelb	92°	orange
Phenanthren	Chinolingelb	100°	gelb
Antipyrin	Chinolingelb + Methylenblau	113°	hellgrün
β-Naphthol	Martiusgelb + Methylenblau	122°	dunkelgrün
Brenzschleimsäure	Methylenblau	133°	blau
Benzilsäure	Methylviolett	150°	violett
Arabinose	Eosin	160°	purpurrot

Um das Eindringen der Schmelze in die Spulenisolation zu verhindern, wird das Papier in ein zusammengefaltetes Glimmerstreifchen gesteckt.

[1]) Reichardt.

Es wurden nur solche Chemikalien und Farbstoffe gewählt, welche von C. A. F. Kahlbaum in Berlin-Adlershof listenmäßig geführt werden, also stets leicht erhältlich sind.

Die technische Anwendung des Öldickenmessers erforderte noch einige Änderungen der Optik. Diese wurde von der Firma C. P. Goerz ausgeführt. Die Erprobung des neuen Geräts ist im Gange. *79. Öldickenmesser*[1].

Die Fortsetzung der Öl- und Lagerversuche führte zur Behandlung einer Anzahl Einzelaufgaben: *80. Öl- u. Lagerversuche*[2].

a) Bei der Untersuchung der Abhängigkeit der Kugellagerreibung vom Schmiermittel, insbesondere von dessen Zähigkeit, ergab sich, daß durch Wahl verschiedener Öle die Reibungsleistung um ein Vielfaches ihres Betrags beim dünnflüssigsten Schmiermittel geändert werden konnte. Das Reibungsmoment wird außerdem im Gegensatz zur allgemeinen Annahme von der Drehzahl erheblich beeinflußt. Die Versuche wurden mittels Reibungswage bis zur Drehzahl 4000 Umdr./Min. für zwei Lager gleicher Abmessungen, aber verschiedener Herkunft angestellt und sollen noch auf einige weitere Lager ausgedehnt und dann veröffentlicht werden.

b) Bei den Lagerversuchen zeigt sich eine erhebliche Einwirkung der in den Stützlagern des Prüfstandes erzeugten Reibungswärme auf die Übertemperatur des Versuchslagers. Diese besonders für das Studium des Zähigkeitseinflusses schädliche Wärmezufuhr wurde durch Kühlung der Hilfslager und Verringerung des leitenden Wellenquerschnitts in der Nähe dieser Stützlager vermieden. Mittels des früher (s. Tätigkeitsbericht 1923, *Zeitschr. f. Instrkde.* ***44.*** *S. 101. 1924*) beschriebenen Verfahrens zur Trennung der Luft- und Lagerreibung (Kalorimetrisches Verfahren) konnte die Störungsfreiheit der Versuche, bei denen keine Luftreibung auftrat, genau überprüft werden.

c) Der Erzielung von wirklich einwandfreien Lagerversuchen diente auch eine Anordnung zur reibungslosen Belastung von Versuchslagern. Die Veränderung des Drucks bei Prüfständen erfolgt meist mittels Hebelmechanismen, die durch Kugellager auf die Welle wirken. Diese Hilfslager verbrauchen Reibungsleistung, die in Wärme umgesetzt wiederum die Temperaturverhältnisse in den Prüflagern verändert. Im allgemeinen wird in der Literatur die Reibungsleistung der Hilfslager durch ungenaue Differenzmessungen bestimmt und ihre Wärmewirkung überhaupt nicht berücksichtigt. Diese Fehler wurden dadurch vermieden, daß den Hilfslagern zusätzlich dieselbe Drehzahl wie der Welle erteilt wurde. Die Energie für die Drehung des Hilfslagers wird von außen gedeckt. Da zwischen Welle und Hilfslager Synchronismus besteht, wird keine störende Wärme erzeugt.

d) Zur Bestimmung der Reibungsverluste dient neben der Reibungswage das in der Reichsanstalt durchgebildete Torsionsdynamometer mit optischer Ablesevorrichtung. Bei der Messung sehr kleiner Drehmomente macht sich jedoch die Luftreibung der Dynamometerscheiben störend bemerkbar. Um diesen Nachteil zu beseitigen, wurde die der Meßanordnung zugewandte Seite des Dynamometers gekapselt. Auf diese Weise konnte ein luftreibungsfreies Meßgerät geschaffen werden.

Das Verfahren für reibungsfreie Belastung fand Anwendung bei Vergleichsversuchen an Motoren, die mit Gleitlagern und solchen, die mit Kugellagern ausgerüstet waren. Es handelte sich hier außer um die Bestimmung der Leerlaufsreibung insbesondere um die Ermittelung der Zunahme der Reibungsleistung bei Belastung, wie sie z. B. durch Riementrieb hervorgerufen wird. Bisher ergab sich, daß bei dem Kugellager-Motor mit wachsendem Lagerdruck die Reibungsleistung nur wenig zunimmt. *81. Vergleich zwischen Gleit- u. Kugellagern*[3].

In der Technik ist die Schwierigkeit bekannt, bei Lagern mit langsamer Drehbewegung oder mit schwingender Relativbewegung zwischen Zapfen und Schale hohe Drucke durch die Schmierschicht zu übertragen. Namentlich beim Zapfen im Kreuzkopf von Kurbelgetrieben besteht die Gefahr, daß die Schmierschicht zerstört wird. Es tritt Teilschmierung auf, die Maschine beginnt zu „klopfen“ oder zu „schlagen“. Durch eine neue Einrichtung konnte Abhilfe geschaffen werden. Es *82. Kurbeltrieb mit rotierendem Kreuzkopfzapfen*[4].

---

[1]) V. Vieweg, Wetthauer. [2]) V. Vieweg, R. Vieweg.
[3]) V. Vieweg, H. E. Linckh. [4]) V. Vieweg, R. Vieweg.

wurde zwischen Zapfen und Schale zusätzlich eine ausreichende Relativdrehung herbeigeführt, die sich beim Kurbelbetrieb besonders einfach dadurch erreichen ließ, daß der Zapfen des Kreuzkopflagers an die Kurbel des Getriebes angelenkt wurde, so daß ein Planetengetriebe entstand. Fig. 12 zeigt eine Pumpe, bei der die Drehung des Kreuzkopfzapfens vom Kurbelzapfen aus mittels Riemen bewirkt wird.

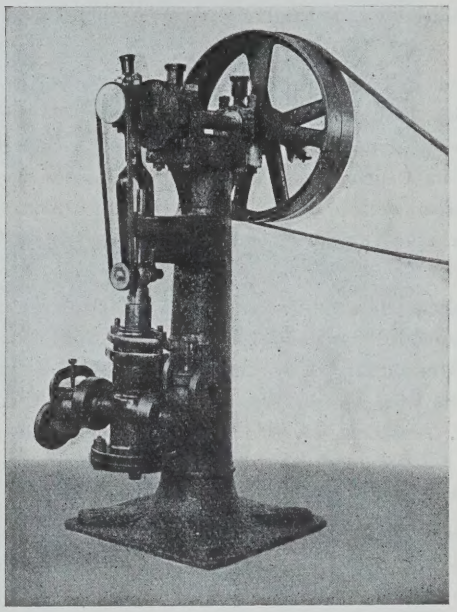


Fig. 12.

83. Zusätzliche Verluste in Asynchronmotoren[1].

Zur Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Zusatzverlusten und Zahnpulsationsverlusten wurde unter Benutzung der bei kleinen Belastungen praktisch vorhandenen Verhältnisgleichheit zwischen Schlüpfung und abgegebener Leistung die bei Leerlauf auf den Läufer übertragene Leistung ermittelt. Aus ihr erhält man nach Berücksichtigung der Reibungsleistung und des Hysteresesprungs die Zahnpulsationsverluste.

Ein von Kade angegebenes Rückarbeitungsverfahren zur Bestimmung der zusätzlichen Verluste durch Kupplung zweier gleicher Asynchronmotoren mittels Riemenscheiben wenig verschiedenen Durchmessers wurde dahin erweitert, daß bei Verwendung eines geeichten Motors mit Schleifringanker Widerstand im Läufer eingeschaltet und so jede beliebige Belastung eingestellt werden konnte.

84. Direkte Schlüpfungsmessung[2].

Die Schlüpfung von Asynchronmotoren wurde mit Hilfe von Unipolarmaschinen gemessen. Zwei Maschinen, die von der Firma Stepper & Co., Hamburg, in entgegenkommender Weise der Reichsanstalt überlassen worden sind, wurden auf genau gleiche EMK (maximal 40 Millivolt bei 1000 Umdr./Min.) eingestellt. Die eine Maschine wurde mit dem Generator, die andere mit dem zu untersuchenden Asynchronmotor gekuppelt. Die Differenz der EMKe ist der Schlüpfung verhältnisgleich. Es konnte auf diese Weise noch 0,05 v. H. Schlüpfung direkt gemessen werden.

85. Leistungsmessung durch Erwärmung[3].

Um bei elektrischen Kleinapparaten in gewissen Fällen, wo die wattmetrische Messung Schwierigkeiten bietet, die Leistungsaufnahme bei Wechselstrom noch mit genügender Genauigkeit zu bestimmen, wurde in folgender Weise verfahren: Es wurde die Leistungsaufnahme bei Gleichstrom gemessen und aus Strom und Spannung die mittlere Erwärmung bestimmt. Gleichzeitig wurde die Erwärmung an verschiedenen Stellen mittels Thermometer gemessen. Mißt man nun an diesen Stellen die Erwärmung bei Betrieb mit Wechselstrom wieder mit dem Thermometer, so kann aus den Eichkurven bei Gleichstrom in einfacher Weise auf die zur gemessenen Erwärmung gehörige Wechselstromleistung geschlossen werden. Die Ergebnisse stimmten mit der auf andere Weise ermittelten Leistungsaufnahme befriedigend überein.

86. Messung magnetischer Felder[4].

Zur Messung magnetischer Felder wurde ein Apparat durchgebildet. der die Einwirkung eines Magnetfeldes auf einen biegsamen stromführenden Leiter zur Messung benutzt. Es ergab sich, daß eine recht genaue Bestimmung auch sehr schwacher Felder bis herab zu 10 Gauß nach Größe und Richtung mit einfachen Mitteln durchgeführt werden kann (Anhang 1, Nr. 28).

87. Verbesserung der magnetischen Meßeinrichtungen.

a) Jochmethode[5].

Die Untersuchungen an einem neuen Jochmodell mit Hilfe des magnetischen Spannungsmessers mußten abgebrochen werden, bis ein genügend empfindliches, störungsfreies Galvanometer zur Verfügung steht, was voraussichtlich in kurzer Zeit der Fall sein wird.

b) Bestimmung der Anfangspermeabilität[6].

Die Methode zur Bestimmung der Anfangspermeabilität bei Wechselstrom in einer Kompensationsschaltung mit einem Vibrationsgalvanometer als Nullinstrument, über die bereits vor einem

---

[1]) V. Vieweg, R. Vieweg. [2]) R. Vieweg, H. E. Linckh.
[3]) V. Vieweg. [4]) Schröter. [5]) Steinhaus, Gumlich. [6]) Steinhaus.

Jahre berichtet wurde, ist noch in einigen Punkten verbessert worden. Sie hat sich bei einer großen Anzahl von Messungen gut bewährt und soll demnächst ausführlich veröffentlicht werden.

c) Torsionsmagnetometer[1].

Da in letzter Zeit des öfteren Materialien mit sehr kleiner Koerzitivkraft (unter 0,1 Gauß) zur Untersuchung gelangten, wurde die Schaffung eines hochempfindlichen, störungsfreien Magnetometers immer dringender. Durch Vorversuche wurde festgestellt, daß es möglich ist, unter Benutzung der Erfahrungen von Nernst und Jaeger bei der Konstruktion von astatischen Galvanometern das transportable Torsionsmagnetometer von Kohlrausch und Holborn durch ein neues, zweckentsprechend konstruiertes Gehänge so umzugestalten, daß es die nötige Empfindlichkeit bei genügender Störungsfreiheit besitzt. Das neue Gehänge ist nahezu fertiggestellt, so daß die endgültigen Versuche in absehbarer Zeit stattfinden können.

d) Differentialmeßeinrichtung von Siemens[2].

Die Firma Siemens & Halske hat der Reichsanstalt eine vollständige Differentialmeßeinrichtung zur Bestimmung der Verlustziffern und der Magnetisierbarkeit von Epsteinproben geschenkt. Hiermit soll zunächst versucht werden, laufende Prüfungen an solchen Proben, die nicht als Normale dienen sollen, auszuführen. Für später, wenn die nötigen Erfahrungen vorliegen und genügend Normalproben vorhanden sind, ist eine Übertragung der Methode auch auf die Prüfung der Normalproben beabsichtigt. Die Normale der Reichsanstalt müßten dann von Zeit zu Zeit nach der absoluten Wattmetermethode kontrolliert werden. Daß solche absoluten Messungen auch in den neuen Apparaten möglich sind, wurde bereits durch eine Reihe von Messungen festgestellt. Die übrigen Versuche nach der Vergleichsmethode sind im Gange.

e) Bestimmung des 2. und 3. Umwandlungspunktes[3].

Es zeigte sich notwendig, die Einrichtungen zur Bestimmung des 2. und 3. Umwandlungspunktes so umzugestalten, daß diese Messungen auch an 1 mm starken Drähten ausgeführt werden können. Während dies beim 2. Umwandlungspunkt leicht gelang, verliefen die Versuche beim 3. Umwandlungspunkt noch nicht völlig befriedigend.

88. Einfluß der chemischen Zusammensetzung und thermisehen Behandlung auf die Magnetisierbarkeit von Eisenlegierungen[3].

Den größten Teil der Arbeitskraft des Laboratoriums haben auch im verflossenen Jahre die Arbeiten über die Nickeleisenlegierungen mit hoher Anfangspermeabilität in Anspruch genommen. Sie wurden über den gesamten Konzentrationsbereich dieser Legierungen und über verschiedene thermische Behandlungsweisen ausgedehnt und zu einem vorläufigen Abschluß gebracht. Ganz besonders eingehend wurde ein Material untersucht, das schon praktische Anwendung zur Umspinnung eines in der Ostsee verlegten Kabels gefunden hatte.

Es steht zu hoffen, daß die Reichsanstalt in Kürze imstande ist, diese Untersuchungen an selbst erschmolzenen Legierungen fortzuführen. Ein Vakuumschmelzofen nach Hanemann kommt gerade zur Aufstellung und ein zweiter mit Hochfrequenzbetrieb ist im Aufbau begriffen.

89. Bestimmung der Entmagnetisierungsfaktoren kreiszylindrischer Stäbe[4].

Die sehr umfangreichen Messungen sind zu Ende geführt worden und zum größten Teil bereits ausgewertet. Dabei hat sich gezeigt, daß an einzelnen Stellen, an denen eine besondere Genauigkeit erforderlich ist, noch Kontrollmessungen vorgenommen werden müssen, die im Gange sind.

Abteilung III.

Unterabteilung IIIa.

90. Zustandsgleichung der Gase[5].

Die Beobachtung der Isothermen verschiedener Gase wurde auf Temperaturen unterhalb 0^0 bis -183^0 ausgedehnt. Hieraus und aus den früheren Messungen zwischen 0^0 und 400^0 wurden Formeln für die Korrektion des Gasthermometers auf die thermodynamische Skale abgeleitet, die im Bereiche kleiner Drucke zu einfachen Zustandsgleichungen führen. Für Helium, Stickstoff und Argon wurden die Untersuchungen veröffentlicht (Anh. 1, Nr. 66). Es ergab sich, wenn $100\,T = 273 + t$ gesetzt wird,

---

[1]) Steinhaus, Gumlich.
[2]) Steinhaus.
[3]) Steinhaus, Gumlich, Kußmann.
[4]) Gumlich, Steinhaus.
[5]) Holborn, Otto.

$$\left(\frac{d(pv)}{dp}\right)_{p=0} \cdot 10^5 =$$

$$\text{für He } (-183^0 \text{ bis } 400^0):\ 87{,}01 - 3{,}81\,T - \frac{18{,}77}{T},$$

$$\text{„ } N_2 \ (-130^0 \text{ „ } 400^0):\ 357{,}46 - 9{,}36\,T - \frac{1044{,}84}{T} - \frac{242{,}53}{T^3},$$

$$\text{„ Ar } (-100^0 \text{ „ } 400^0):\ 251{,}00 - 2{,}40\,T - \frac{972{,}00}{T} - \frac{345{,}6}{T^3}.$$

91. Sättigungsdruck von Sauerstoff, Stickstoff und Wasserstoff[1]).

Neue gasthermometrische Messungen bei tiefen Temperaturen ergaben für den normalen Siedepunkt:

von Sauerstoff $-183{,}00^0 \pm 0{,}02^0$,
„ Stickstoff $-195{,}81^0 \pm 0{,}02^0$,
„ Wasserstoff $-252{,}78^0 \pm 0{,}02^0$.

Für die Abhängigkeit der Siedetemperatur des Sauerstoffs vom Druck p (mmHg) in dem Bereiche -183^0 und -205^0 wurde gefunden:

$$\log p = -\frac{379{,}95}{T} - 0{,}009\,621\,9\,T + 1{,}75 \log T + 4{,}539\,39$$

und des Stickstoffs im Bereiche zwischen -195^0 und für 205^0:

$$\log p = -\frac{301{,}91}{T} - 0{,}009\,027\,2\,T + 1{,}75 \log T + 4{,}176\,43.$$

Die Ergebnisse wurden veröffentlicht (Anh. 1, Nr. 61)

92. Definition der Temperaturskale unter 0[0 1]).

Nach dem vorigen Bericht ist die Temperaturskale in dem Gebiet von $t = 0^0$ bis -193^0 durch den Widerstand R eines reinen Platindrahtes nach der Gleichung $R_t/R_0 = 1 + at + bt^2 + ct^4$ darstellbar. Es hat sich weiter gezeigt, daß die Konstante c für reines Platin bei wechselnden Werten von a und b als unveränderlich, nämlich $c = -5 \cdot 10^{-12}$, angenommen werden darf, so daß zur Eichung des Widerstandsthermometers in diesem Temperaturgebiet außer dem Eispunkt zwei Fixpunkte, der Siedepunkt des Sauerstoffs und der Erstarrungspunkt des Quecksilbers genügen. Ist das Widerstandsthermometer oberhalb 0^0 geeicht, so kann mit Hilfe der Callendarschen Formel R_t/R_0 am Erstarrungspunkt des Quecksilbers berechnet werden, so daß nur noch eine Konstante zu ermitteln ist, die zweckmäßig durch die Beobachtung des Siedepunktes des Sauerstoffs gefunden wird. (Anh. 1, Nr. 60.)

93. Internationale Temperaturskale.

Durch das Gesetz vom 7. August 1924 wurde die Temperaturskale und die Wärmeeinheit im Deutschen Reich festgesetzt. Über die Einführung einer internationalen Temperaturskale schweben Unterhandlungen mit dem Bureau international, dem Bureau of Standards, dem National Physical Laboratory und dem Leidener Kältelaboratorium. Da zwischen den Beteiligten eine weitgehende Übereinstimmung über den Plan besteht, hofft man, eine Vereinbarung ohne Konferenz auf schriftlichem Wege zustande zu bringen.

94. Schmelzpunkt organischer Flüssigkeiten[1]).

Im Jahre 1922 haben Timmermans, van der Horst und Kamerlingh Onnes (*Leiden Comm. Nr. 157*) in der Temperaturskale des Leidener Kältelaboratoriums die Erstarrungspunkte einiger organischer Flüssigkeiten gemessen, die zum Teil auch in der Reichsanstalt bestimmt worden waren. In der Absicht, die zwischen den beiden Meßreihen auftretenden Temperaturunterschiede von $0{,}3^0$ bis $0{,}4^0$ aufzuklären, wurde der früher hier nicht beobachtete Erstarrungspunkt von Toluol an dem von den genannten Autoren gemessenen Präparat bestimmt, das Prof. Keesom in Leiden übersandt hatte. Es wurde hier für den Erstarrungspunkt $-95{,}02^0$ gefunden, während die Leidener Beobachtungen $-95{,}14^0$ ergeben hatten. Ein Teil der früher gefundenen großen Unterschiede dürfte also auf die Verschiedenheit der Versuchsstoffe zurückzuführen sein. Für eine genaue Vergleichung der Temperaturskale eignen sich jedoch diese organischen Stoffe nicht, da sie starke Unterkühlungen aufweisen, Toluol z. B. bis 15^0.

95. Mikropyrometer[1]).

Das Mikropyrometer wurde sowohl in seiner Form mit spektraler Zerlegung der Strahlung wie in der mit Farbglas noch mannigfach verbessert. Letzteres besitzt die größere Einstellungsgenauigkeit. Durch eine besondere Justierung läßt sich die Ablenkung, welche die Lichtstrahlen

[1]) Henning, Heuse.

durch die Glocke der Pyrometerlampe erfahren, beseitigen; die Rauchgläser zur Schwächung der Strahlung werden vom Objektiv entfernt, um Änderung der Durchlässigkeit durch Erwärmung zu vermeiden, die 0,07 % Grad bei der Durchlässigkeit von 0,1 beträgt.

Die schwarze Temperatur schmelzender Metalle konnte mit diesen Instrumenten sicher an Drähten von 0,25 mm Durchmesser oder an Blechstreifen von 0,5 mm Breite gemessen werden, während diese Aufgabe mittels der älteren Pyrometer, welche große gleichmäßig glühende Flächen verlangten, nicht befriedigend gelöst werden konnte. Bei der Wellenlänge von 0,622 μ wurden folgende schwarze Schmelztemperaturen gemessen:

Platin	1571°
Palladium	1399°
Rhodium	1720°
Iridium	2068°.

Für Platin läßt sich die Abhängigkeit der absoluten schwarzen Schmelztemperatur S_λ von der Wellenlänge durch die Beziehung

$$\frac{1}{S_\lambda} = \frac{1}{2083} + \lambda \cdot 10^{-4}$$

darstellen, wo 2083° abs. = 1810° C die Farbtemperatur des schmelzenden Platins bedeutet. (Anh. 1, Nr. 62).

96. Messungen an den Lampen der Nela[1]).

An vier gasgefüllten Wolframlampen, und zwar zwei Band- und zwei Drahtlampen, welche die Nela (*General Electric Co.*) übersandte, wurde mit dem Mikrospektralpyrometer an gekennzeichneten Stellen des glühenden Metalles die schwarze Temperatur bei verschiedener Heizstromstärke gemessen und mit den Werten verglichen, welche die Nela vor Absendung und nach Rückkehr der Lampen mit einem Farbglaspyrometer ermittelte. Die Untersuchung ist noch nicht abgeschlossen.

97. Verwirklichung der Temperaturskale mit Normallampen[1]).

Wolframlampen der erwähnten Art sind für die Verwirklichung der Temperaturskale und als Ersatz des schwarzen Körpers bei der Eichung von Pyrometerlampen von großem Wert. Die Osramgesellschaft hat für die Reichsanstalt einen Satz derartiger Wolframbandlampen angefertigt und in dankenswerter Weise zur Verfügung hestellt. Das Ergebnis von vergleichenden Messungen die an einer dieser Lampen mit den beiden Arten des Mikropyrometers ausgeführt wurden, ist in der folgenden Tabelle enthalten; sie zeigt die erreichbare Genauigkeit.

Stromst.	Schwächung		Schwarze Temperatur bei $\lambda = 0{,}656$	
Amp.	Art	Größe	Spektralpyr.	Farbglaspyr.
9,5	—	1	1106°	1104°
11,9	1 Rauchglas	9,59	1334	1332
16,2	2 Rauchgläser	96,3	1655	1655
23,8	3 „	971	2123	2127
23,8	Magnesiaschirm	1770	2124	2125
27,7	3 Rauchgläser	971	2334	2332

98. Wirksame Wellenlänge[2]).

Bei dem Farbglaspyrometer, das mit einem Schottschen Rotglas *F* 4512 versehen ist, verschiebt sich die wirksame Wellenlänge mit dem Wechsel der Emission des Strahlers. Der Einfluß dieser Erscheinung auf die Temperaturmessung wurde eingehend untersucht; er überstieg in keinem Falle die sonstigen Fehlergrenzen der Messung. Die Berechnung ließ sich wesentlich dadurch vereinfachen, daß die wirksame Wellenlänge λ_e im Bereiche des Wienschen Strahlungsgesetzes durch die theoretisch und experimentell erwiesene Beziehung

$$\frac{1}{\lambda_e} = \frac{1}{\Lambda_0} - \gamma \left(\frac{1}{F} + \frac{1}{T}\right)$$

[1]) Henning, Heuse. [2]) Henning.

dargestellt werden kann, wo T die am Pyrometer (ohne Rücksicht auf etwa benutzte Lichtschwächungen) abgelesene Temperatur bedeutet und F die Farbtemperatur darstellt, welche die vom Objekt ausgehende Strahlung am Ort der Pyrometerlampe besitzt; Λ_0 und γ bezeichnen empirische Konstante, die durch die Durchlässigkeit des Farbglases und die Farbenempfindlichkeit des Auges bestimmt sind.

Diese Formel ist auch auf das Spektralpyrometer anwendbar. In diesem Falle hängen Λ_0 und γ außer von der Farbenempfindlichkeit des Auges von der Spaltbreite ab. In erster Näherung ist γ proportional dem Quadrat der Spaltbreite und $1/\Lambda_0$ ist eine lineare Funktion dieses Quadrates. Bei extrem großer Spaltbreite und einem hohen Wert von F konnte die Richtigkeit der Formel auch in diesem Fall geprüft werden. Aus ihr folgt, daß auch bei dem Spektralpyrometer die Verschiebung der wirksamen Wellenlänge ohne merklichen Einfluß auf die Temperaturmessungen ist, wenn der den Spalt durchsetzende Wellenlängenbereich unter 0,015 μ bleibt.

99. Durchflußziffer von Düsen[1]. Die Bestimmung der Durchflußziffer von Normaldüsen aus dem Druckabfall von glatten Rohren ist veröffentlicht (Anh. 1, Nr. 70 und Nr. 71). Die Durchflußziffer ist in die Regeln für Leistungsversuche an Ventilatoren und Kompressoren aufgenommen, die der Verein deutscher Ingenieure neu herausgibt.

100. Absolute Zähigkeit von Flüssigkeiten[2]. Das Viskosimeter nach Couette weist zwei hintereinandergeschaltete Kapillaren von gleichem Durchmesser und verschiedener Länge auf. Gemessen werden die Druckunterschiede an den Enden jeder Kapillare, die Menge der sie durchströmenden Flüssigkeit und die Zeit. Dann können die Störungen der Strömung an den Enden der Röhrchen eliminiert werden, die bei der Anwendung nur einer Kapillare eine unsichere Korrekturgröße bilden.

Zu dem Viskosimeter gehören drei Paar Kapillaren von 100 und 200 mm Länge und der lichten Weite 1,0 mm, 1,7 mm und 2,1 mm, die die Untersuchung eines sehr ausgedehnten Zähigkeitsbereiches ermöglichen. Bisher wurden Anilin und 5 Mineralöle zwischen 0 und 60° untersucht, deren Zähigkeit bei 20° zwischen 0,11 und 5,4 Poise ($cm^{-1}\,g\cdot s^{-1}$) liegt.

Ein zweiter Zähigkeitsmesser von gleicher Bauart ist in Vorbereitung, mit dem die Messungen auf höhere Temperaturen ausgedehnt werden sollen.

101. Normalflüssigkeiten für Zähigkeitsmesser[2]. Die gebräuchlichen Zähigkeitsmesser (nach Engler, Ostwald usw.) werden meistens mit Wasser ($\eta_{20} = 0{,}01$) geeicht. Mit solchen Apparaten mißt man aber häufig Zähigkeiten, die tausendmal größer sind, als die des Wassers. Es besteht daher das Bedürfnis nach geeigneten Eichflüssigkeiten, die größere Zähigkeit besitzen. Zunächst wurde Anilin vorgenommen. Es wurden zu verschiedener Zeit zwei Proben „Anilin aus Sulfat" von Kahlbaum bezogen und bald nach Empfang untersucht, sowie nach Destillation im Vakuum bei etwa 84°. Sämtliche Messungen ergaben innerhalb der Genauigkeitsgrenzen des Viskosimeters die gleichen Zähigkeitswerte; sie sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt:

Zähigkeit von Anilin.

Temp.	η Poise	Temp.	η Poise
0°	0,103	35°	0,027
5	0,081	40	0,023
10	$0{,}064_5$	45	0,020
15	0,052	50	0,018
20	0,043	55	0,0165
25	$0{,}036_5$	60	0,015
30	0,031		

102. Technische Zähigkeitsmesser[2]. Da die Technik immer mehr von empirischen Formeln zu den exakten Strömungsgleichungen der Hydrodynamik übergeht, macht sich das Bedürfnis nach Kenntnis der Zähigkeit im physikalischen Maß geltend. Für die Umrechnung der mit dem verbreiteten Englerschen Zähigkeitsmesser bestimmten Englergrade hat Ubbelohde Tafeln aufgestellt, die nachzuprüfen und zu berichtigen

[1]) Jakob, Erk. [2]) Erk.

sich als notwendig erwies. Da alle Versuche einer theoretischen Behandlung dieser Aufgabe bisher an der Unübersichtlichkeit der Strömungsvorgänge im Englerapparat scheiterten, wurde rein empirisch durch gleichzeitige Messungen von Englergraden und absoluten Zähigkeiten eine Umrechnungskurve aufgenommen und zugleich untersucht, innerhalb welcher Grenzen die Verwendung des Englerapparates als Zähigkeitsmesser zulässig ist. Die Arbeiten sind noch nicht abgeschlossen.

Ein von H. Vogel konstruierter Zähigkeitsmesser wurde von den Ölwerken Stern-Sonneborn A. G. in Hamburg eingereicht. Der Apparat besteht aus einer Kapillare mit Erweiterung und Durchflußmarken, sowie einem Aufnahmegefäß für die ausfließende Versuchsflüssigkeit, bei dem ein Überlauf selbsttätig den Strömungsdruck konstant hält. Dadurch wird es ermöglicht, rasch und mit kleinen Mengen der Versuchsflüssigkeiit die kinematische Zähigkeit und bei Verwendung eines einfachen Druckapparates auch die gewöhnliche Zähigkeit in Abhängigkeit von der Temperatur zu messen. Die Prüfung des Apparates erwies seine Brauchbarkeit; zur Erzielung einer größeren Gleichmäßigkeit der Temperatur wird das Bad noch umgeändert.

103. Wärmeleitvermögen fester Stoffe[1]).

Mit dem im vorigen Bericht beschriebenen neuen Apparate wurden bisher zehn zur Prüfung eingereichte keramische Platten untersucht. Der Apparat bedarf sorgfältiger Behandlung und Bedienung, hat sich aber sonst gut bewährt. Nach etwa 3- bis 4stündiger Heizung ist ein Dauerzustand erreicht, in dem während weiterer zwei Stunden fortlaufend die Heizenergie und die Temperaturen gemessen werden. In der Regel wird die Paraffinschicht zwischen der Versuchs- und Metallplatte einmal erneuert und dann die Messung wiederholt. Dabei unterschieden sich die Versuchsergebnisse nur ein einziges Mal — bei einer besonders dünnen Platte — um 2%, in allen anderen Fällen um weniger als 1%, im Mittel um ½%.

Der Übergang zu höheren Temperaturen hat große Schwierigkeiten gemacht. Beim Weglassen der Paraffinschicht erhielt man schon bei gewöhnlicher Temperatur Werte der Wärmeleitfähigkeit, die bis 35% zu gering waren, obwohl die Versuchsplatten so gut geschliffen waren, daß sie beim Zusammenlegen aneinander hafteten. Dabei berühren sich die Platten offenbar nur an einzelnen Stellen, während im Übrigen Luftschichten vorhanden sind. Es wurden nun die beiden Flächen einer Platte galvanisch stark verkupfert und die Thermoelemente in Nuten in Kupferüberzug eingelassen. Dabei kam man zwar dem richtigen Wert des Wärmeleitvermögens auf 2 bis 3% nahe, aber die Verkupferung blätterte bei 160° von den Platten ab, so daß Messungen bei höheren Temperaturen hierdurch nicht ermöglicht wurden.

Als Ersatz für Paraffin bewährte sich ein Hochvakuum-Bitumen, mit dem bis über 80° bereits genaue Messungen gelungen sind und das voraussichtlich bis 200° brauchbar sein wird. Oberhalb dieser Temperatur wird man wohl dickere Versuchsplatten mit Bohrungen für die Thermoelemente verwenden müssen.

104. Prüfung und Bewertung von Isolierflaschen[1])

Isolierflaschen (Vakuummantelgefäße) wurden so geprüft, daß die Abkühlung einer Füllung kochenden Wassers laufend beobachtet oder die Zeit bis zum völligen Schmelzen einer Eisfüllung festgestellt wurde. Die Ergebnisse der Prüfung von 45 Flaschen verschiedener Herkunft, Art und Größe, wurden nunmehr in praktischer Form zusammengefaßt. Als Bewertungskriterien wurden eingeführt die „Halbwertzeit“, d. i. die Zeit, in der die Temperaturdifferenz zwischen Flascheninhalt und Außenluft auf den halben Betrag sinkt, der „spezifische Temperaturabfall“, d. i. die in 24 Stunden erfolgende Temperaturabnahme des Flascheninhaltes im Vergleich zu der anfangs vorhandenen oben genannten Temperaturdifferenz und die „Schmelzdauer“, d. i. die Zeit, in der eine Füllung von geschabtem Eis schmilzt, die halb soviel wiegt als der Wasserinhalt der völlig gefüllten Flasche. Die Versuchsergebnisse führten zu gewissen praktischen Grenzen für diese Bewertungsziffern, nach denen sich die Isolierfähigkeit bemessen läßt. Die Untersuchung ist veröffentlicht (Anh. 1, Nr. 67).

105. Verdampfungswärme des Wassers bei höheren Drucken[1]).

Die Versuchsanordnung ist im wesentlichen fertiggestellt. Das Doppelventil bedurfte noch vieler Nacharbeit und Verbesserung. Es ist insbesondere eine Vorrichtung angebracht worden, mit der man kleine Undichtheiten des Ventilsitzes im Betrieb feststellen kann. Das Ventil wird durch ein schweres Hebelwerk gesteuert, das ebenso wie der Heizkörper in der Reichsanstalt gebaut wurde.

---

[1]) Jakob.

Dieser besteht aus zwei dickwandigen Kupferzylindern mit dazwischen auf Glimmer gewickelten Konstantanbändern; die Zylinder sind oben und unten mit Silber zusammengelötet. Die als Druckbehälter für die Versuche dienenden großen Stahlflaschen hat die Firma Borsig zur Verfügung gestellt.

106. Wasserstoffverflüssigung[1]. Da das Versagen der Saug- und Druckventile des Wasserstoffkompressors durch das Einfügen von Filtern nicht dauernd zu beheben war, wurden die eisernen Kühlschlangen des Kompressors durch solche aus Kupfer ersetzt. Außerdem wurden besondere Fräser zum genauen Nacharbeiten der Ventile angefertigt. Seitdem hat der Kompressor ohne Störungen gearbeitet.

In dem Wasserstoffverflüssiger ist ein Flüssigkeitsabscheider um das Expansionsventil herum angebracht worden, um das Mitreißen von Flüssigkeit in den Gegenströmer zu verhindern. Verflüssigt werden jetzt reichlich 4 Liter in der Stunde, wobei die Verluste, die beim Überhebern aus dem Verflüssiger in die Vorratsgefäße entstehen, nicht eingerechnet sind. Sie betragen etwa 25 Prozent. Unter Berücksichtigung dieser Verluste ergibt sich, daß im Verflüssiger etwa 65 Proz. der theoretisch zu erwartenden Flüssigkeitsmenge gebildet werden.

Der flüssige Wasserstoff wurde in letzter Zeit in metallenen Vakuummantelflaschen von 5 Liter Inhalt mit engem Hals angesammelt, in denen der Stand der Flüssigkeit durch einen Schwimmer angezeigt wird. Im Berichtsjahre sind 116 Liter flüssiger Wasserstoff hergestellt worden, wovon 101 Liter für die Trennung von Neon-Helium-Gemisch, 15 Liter für Untersuchungen an Einkrystallen und Thermoelementen verwendet wurden.

107. Heliumverflüssigung[1]) Die Anlage für Heliumverflüssigung wurde fertiggestellt und auf Druckfestigkeit und Dichtigkeit geprüft. An dem gelieferten Gegenströmer mußten in der Reichsanstalt noch einige Teile erneuert werden. Auch der Heliumkompressor wurde noch mannigfach verbessert. Die Anlage wurde zunächst durch Verflüssigung von Stickstoff erprobt.

Die Trennung des von der Linde-Gesellschaft zur Verfügung gestellten Neon-Helium-Gemisches mit 20 bis 25 Proz. Helium wurde in der Weise begonnen, daß das Neon in einem Gefäß kondensiert wurde, das im Wasserstoffverflüssiger selbst angebracht war, so daß die Kondensationstemperatur nicht unter 20° abs. lag. Es zeigte sich, daß bei dieser Temperatur und unter dem angewendeten Anfangsdruck von etwa 10 Atm. beim Abpumpen des Heliums der Druck, nachdem er nahezu auf 0 Atm. gesunken war, plötzlich auf mehrere Atm. anstieg. Auch wenn diese Druckerhöhung, deren Ursache nicht völlig geklärt ist, abgewartet wurde, enthielt das zurückbleibende Neon noch etwa 5 Proz. Helium. Deshalb wurde die Kondensation im Wasserstoffverflüssiger selbst aufgegeben und das Kondensationsgefäß in ein Gefäß mit flüssigem Wasserstoff eingetaucht, in dem der Druck durch Abpumpen des Dampfes mit einer großen Kolbenpumpe bis auf 5 bis 8 mm Quecksilber erniedrigt werden kann, so daß der Wasserstoff erstarrt und die Temperatur auf etwa 11° abs. sinkt. Das nach längerem Abpumpen des Heliums zurückbleibende Neon enthielt höchstens 0,2 Volumprozent Helium, während das abgepumpte Helium noch mit etwa 10 Proz. — offenbar in fester Form mitgerissenem — Neon verunreinigt ist. Das reine Neon, das beim Erwärmen durch eigenen Druck in Stahlflaschen gepreßt wird, nimmt die Linde-Gesellschaft zurück, nur ein kleiner Teil wurde zur Messung der Isothermen verwendet. Bis jetzt sind 2,6 m³ Neon-Helium-Gemisch getrennt und etwa 600 Liter Helium gewonnen, die zum größeren Teil in Stahlflaschen, zum kleineren Teil in Gasometern aufbewahrt werden. Das Trennungsverfahren wurde im Laufe der Zeit so verbessert, daß jetzt an einem Tage mit 8 Litern flüssigen Wasserstoffs 250 bis 400 Liter Neon-Helium-Gemisch getrennt, also 50 bis 100 Liter Helium erhalten werden. Nach Trennung eines noch vorhandenen Vorrates von etwa 650 Liter Neon-Helium-Gemisch und nochmaliger Reinigung des angesammelten Heliums kann an die Verflüssigung des Heliums gegangen werden, wobei auf etwa 400 ccm flüssigen Heliums zu rechnen ist, wenn mit dem Kompressor nur auf etwa 50 Atm. Druck gegangen wird.

Die Reinheit des gewonnenen Neons und Heliums wurde durch Dichtebestimmungen geprüft. Dies geschah auf akustischem Wege, mit dem von Grüneisen, Merkel und Goens zur Messung von Schallgeschwindigkeiten benutzten Apparat. Als bekannt wird das Verhältnis der spezifischen Wärmen bei konstantem Druck und konstantem Volumen angesehen, für welches der theoretische Wert 1,6667 benutzt wurde. Bei den Messungen an Helium traten in dem benutzten engen Reso-

[1]) Meißner.

nator außer den wahren Resonanztönen noch andere Maxima auf, so daß die Resonanztöne nicht immer sicher zu erkennen waren. Es sind deshalb Vorbereitungen getroffen, die Dichte mit einer Mikrowage zu messen.

Das Verhältnis $\varkappa$ der spezifischen Wärmen c_p und c_v wurde an einem etwa 5 Proz. Helium enthaltenden Neon-Helium-Gemisch von anderweitig bekannter Dichte mit zwei Resonatoren von 2,6 und 5,0 cm Weite gemessen. Aus 8 Beobachtungsreihen ergab sich der Wert $\varkappa = 1{,}664$. Die Bestimmung soll demnächst mit reinem Neon wiederholt werden. *108. Verhältnis der spezifischen Wärmen c_p und c_v von Neon*[1]).

(Schluß folgt.)

Über die Berücksichtigung von Erdkrümmung und Refraktion bei der mechanischen Auswertung von Stereophotogrammen.

Von
Dipl.-Ing. **Claus Aschenbrenner** in München.

Visiert man von einem Standpunkt A aus (Fig. 1) etwa mit einem Theodoliten unter dem Höhenwinkel α ein entferntes Ziel B an, so errechnet sich bekanntlich dessen Höhe über dem Standpunkt A nach der Formel

$$h = x \cdot \operatorname{tg} \alpha + k, \; x^2,$$

worin das Glied $k \cdot x^2$ den Einfluß von Erdkrümmung und Refraktion darstellt. Die Formel sagt aus, daß der Sehstrahl AB keine Gerade ist, sondern scheinbar die Form einer Parabel mit der Gleichung

$$y = x \operatorname{tg} \alpha + k x^2$$

hat. Handelt es sich nun darum, aus Stereophotogrammen mit horizontalen optischen Achsen Höhenpunkte oder Niveaukurven durch mechanische Auswertung an einem Stereoautographen, Stereoplanigraphen oder Autokartographen (die Wirkungsweise dieser Apparate wird als bekannt vorausgesetzt) zu gewinnen, so werden dabei die oben erwähnten Sehstrahlenparabeln durch Gerade ersetzt. Es ist unmittelbar einzusehen, daß bei normaler Justierung der Platten als Ersatz der Parabeln ihre Tangenten im Standpunkt A dienen und daß auf diese Weise alle Höhenbestimmungen mit dem vollen Refraktionsfehler[2]) behaftet sind. Es soll im folgenden untersucht werden, wie durch Änderung der Justierung ein Geradenbüschel als Ersatz für das Parabelbüschel ausgewählt werden kann, welches für einen gegebenen Bereich sich dem letzteren so anschmiegt, daß die Fehlerquadratsumme der Höhenbestimmungen in dem betrachteten Bereich ein Minimum wird; ferner ist noch festzustellen, von welcher Größenordnung die übrig bleibenden Fehler werden.

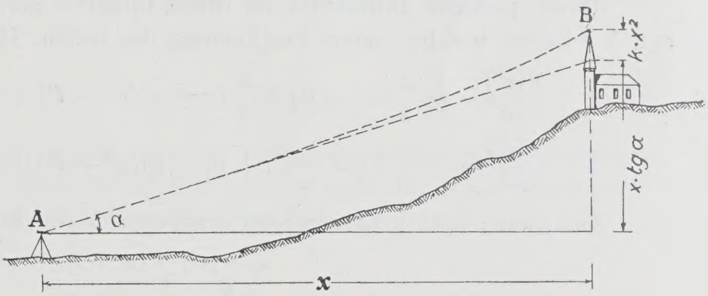


Fig. 1.

Wir stellen uns zunächst die Aufgabe, durch die Sehstrahlparabel mit der Elevation α eine Gerade zu legen so, daß in dem Bereich $x = t$ bis $x = w$ die Quadrat-

[1]) Meißner, Goens.
[2]) Abgekürzte Schreibweise für „vollen Fehler durch Erdkrümmung und Refraktion“.

summe der Abweichungen v zwischen Parabel und Gerade ein Minimum wird. Die gesuchte Gerade hat die Gleichung $y = ax + b$, worin a und b noch unbekannt sind und aus der Minimumbedingung gefunden werden müssen. Aus Fig. 2 ist unmittelbar abzulesen, daß der Fehler v an der Stelle x bestimmt ist durch den Ausdruck

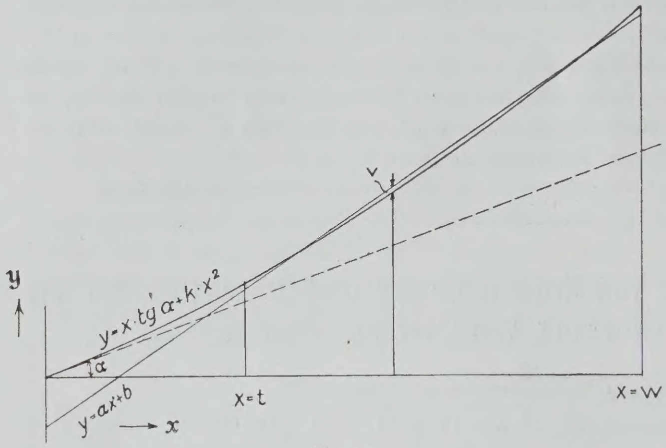


Fig. 2.

$$v = \operatorname{tg}\alpha \cdot x + kx^2 - (ax + b); \quad 1)$$

wir setzen

$$\operatorname{tg}\alpha = p$$

und erhalten

$$v = kx^2 - (a - p)\,x - b;$$

durch Quadrieren ergibt sich

$$v^2 = k^2 x^4 - 2k\,(a - p)\,x^3 + [(a - p)^2 - 2kb]\,x^2 + 2b\,(a - p)\,x + b^2.$$

Wir integrieren nun über den Bereich $x = t$ bis $x = w$ und erhalten

$$\int_{x=t}^{x=w} v^2\,dx = \frac{k^2}{5}(w^5 - t^5) - \frac{k}{2}(a - p)(w^4 - t^4) + \frac{1}{3}[(a - p)^2 - 2kb]$$
$$(w^3 - t^3) + b\,(a - p)\,(w^2 - t^2) + b^2\,(w - t).$$

Durch partielle Differentiation dieses Integrals nach den beiden Unbekannten a und b erhalten wir für deren Bestimmung die beiden Minimumsbedingungen:

$$\frac{\partial\,[v^2]}{\partial a} = -\frac{k}{2}(w^4 - t^4) + \frac{2}{3}(a - p)(w^3 - t^3) + b\,(w^2 - t^2) = 0, \quad 2)$$

$$\frac{\partial\,[v^2]}{\partial b} = -\frac{2}{3}k\,(w^3 - t^3) + (a - p)(w^2 - t^2) + 2b\,(w - t) = 0. \quad 3)$$

Aus diesen beiden Gleichungen ergeben sich die beiden Unbekannten a und b zu

$$a = p + k\,(w + t), \quad 4)$$

$$b = -\frac{k}{6}[(w + t)^2 + 2\,wt]. \quad 5)$$

Die Gleichung der gesuchten Ersatzgeraden lautet somit, wenn wir statt p wieder $\operatorname{tg}\alpha$ einführen.

$$y = [\operatorname{tg}\alpha + k\,(w + t)]\,x - \frac{k}{6}\,[(w + t)^2 + 2\,wt]. \quad 6)$$

Man sieht, daß das Absolutglied die Elevation α nicht enthält, d. h. mit andern Worten, daß alle Ersatzgeraden gleichgültig welche Elevation sie haben durch den Punkt $x = 0$; $y = -\frac{k}{6}[(w + t)^2 + 2\,wt]$ hindurchgehen. In Fig. 3 ist ein Parabelbüschel mit seinen Ersatzgeraden mit stark übertriebenen Höhen gezeichnet. Man sieht daraus, daß man zur Bestimmung von Höhen in dem Gebiete $x = t$ bis $x = w$ mittels gerader Zielstrahlen von einem Ersatzstandpunkt A' ausgehen muß, dessen Höhe H' um den Betrag

$$\Delta H = \frac{k}{6}\,[(w + t)^2 + 2\,wt] \quad 7)$$

unter der Höhe H des wahren Standpunktes liegt, also

$$H' = H - \varDelta H. \qquad 8)$$

Die Konstante k in Formel 7) ist die bekannte Konstante für Erdkrümmung und Refraktion $k = 6{,}85 \cdot 10^{-8}$. Drückt man in Formel 7) $\varDelta H$ in Metern, w und t in Kilometern aus, so ergibt sich als praktische Rechenformel

$$\varDelta H_{\text{in Metern}} = 0{,}0114\,[(w+t)^2 + 2\,wt]_{\text{in Kilometern.}} \qquad 7\,a)$$

Demjenigen geraden Ersatzstrahl, welcher der Parabel mit der Elevation $\alpha = 0$ zugeordnet ist, kommt die Elevation $\alpha' = \operatorname{arctg}[k(w+t)]$ zu. Es ist dies derjenige Strahl, der auf dem Photogramm durch die Horizontmarke festgelegt ist. Die Justierung der Platten hat also in der Weise zu erfolgen, daß 1. die Höhe des Standpunktes um den durch Formel 7) bzw. 7a) zu berechnenden Betrag $\varDelta H$ verkleinert wird, 2. die Einstellung der Meßmarke auf den Markenhorizont mit dem Strahl von der positiven Elevation $\alpha' = \operatorname{arc\,tg}[k(w+t)]$ erfolgt. Dies geschieht praktisch am einfachsten dadurch, daß man den Zeichenstift auf eine möglichst große runde Entfernung E vom Stationspunkt einstellt, sodann nach vorheriger Justierung der Standpunktshöhe H' die Höhe $H'' = H' + \varDelta M$ einstellt und mit dieser Einstellung die Marke auf den Markenhorizont der Platte einstellt. Die Korrektur $\varDelta M$ ergibt sich aus der Formel

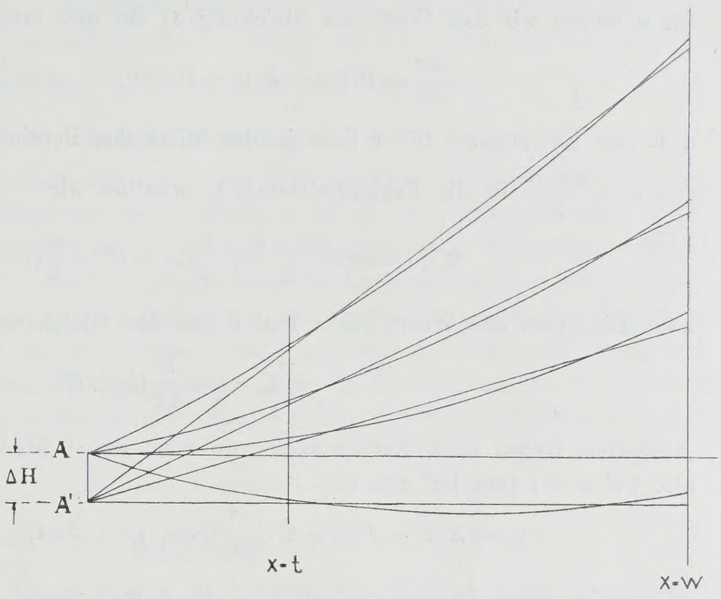


Fig. 3.

$$\varDelta M = E \cdot k\,(w+t). \qquad 9)$$

Dabei ergibt sich $\varDelta M$ in Metern, wenn $k = 0{,}0685$ gesetzt wird und E und $(w+t)$ in km ausgedrückt werden.

Beispiel.

Es handle sich um eine Aufnahme zur Ausarbeitung im Maßstab 1 : 10 000. Das auszuarbeitende Gebiet liege zwischen 2 km und 7,5 km vom Standpunkt entfernt. Die errechnete Höhe des Objektivs sei $H = 2135{,}0$ *m*. Wir berechnen zuerst nach Formel 7a) die Standpunktskorrektur

$$\varDelta H = 0{,}0114\;(9{,}5^2 + 30) = 1{,}37 \text{ m}$$

und justieren die Horizontlage des Höhenmaßstabes auf

$$H' = H - \varDelta h = 2133{,}6 \text{ m (auf Dezimeter abgerundet).}$$

Sodann stellen wir den Zeichenstift auf eine Entfernung von 6 km vom Standpunkt und berechnen nach Formel 9)

$$\varDelta M = 6 \cdot 0{,}0685 \cdot 9{,}5 = 3{,}9 \text{ m.}$$

Nun stellen wir am Höhenmaßstab die Höhe $H'' = H' + \varDelta M = 2137{,}5$ *m* ein und justieren bei dieser Stellung, ohne an der Lage des Zeichenstiftes etwas zu ändern,

die Marke des Mikroskopes auf die Horizontmarke der Platte. Damit ist die Justierung beendet.

Es bleibt nun noch zu untersuchen, wie groß die Höhenfehler in dem betrachteten Bereich $x = t$ bis $x = w$ nach erfolgter Korrektur noch bleiben. Wir erhalten einen Extremwert für v, wenn wir die Gleichung 1) nach x differenzieren und den Differentialquotienten gleich Null setzen; wir erhalten:

$$\frac{dv}{dx} = \operatorname{tg}\alpha + 2kx - a = 0;$$

für a setzen wir den Wert aus Gleichung 4) ein und erhalten

$$\frac{dv}{dx} = k \cdot 2x - k(w + t) = 0; \qquad x = \frac{w + t}{2};$$

d. h. der Extremwert für v liegt in der Mitte des Bereiches $(w; t)$. Durch Einsetzen von $x = \frac{w + t}{2}$ in die Fehlergleichung 1) erhalten wir

$$v_{\frac{w+t}{2}} = \operatorname{tg}\alpha \frac{w + t}{2} + \frac{k}{4}(w + t)^2 - \frac{a}{2}(w + t) - b;$$

nach Einsetzen der Werte für a und b aus den Gleichungen 4) und 5) ergibt sich

$$v_{\frac{w+t}{2}} = -\frac{k}{12}(w + t)^2.$$

Außerdem treten noch Extremwerte von v an den beiden Grenzen des Bereiches auf, also bei $x = t$ und bei $x = w$.

$$\left.\begin{aligned} v_t &= k\left[t^2 - t(w + t) + \frac{1}{6}((w + t)^2 + 2wt)\right] \\ v_w &= k\left[w^2 - w(w + t) + \frac{1}{6}((w + t)^2 + 2wt)\right] \end{aligned}\right\} = \frac{k}{6}(w - t)^2.$$

Auf das vorhin behandelte Beispiel mit $t = 2$ km; $w = 7{,}5$ km angewendet ergeben sich diese drei Extremwerte ausgerechnet wie folgt:

	der volle Refraktionsfehler an derselben Stelle würde betragen:
$v_{\frac{w+t}{2}} = -0{,}17$ m	$+1{,}54$ m
$v_t = +0{,}34$ m	$+0{,}27$ m
$v_w = +0{,}34$ m	$+3{,}85$ m.

Die Ablesegenauigkeit am Höhenmaßstab beträgt beim Stereoautographen 0,02 mm, das ist im Maßstab 1 : 10000 0,2 m. Wie man sieht, bleiben die maximalen Höhenfehler, welche nach Anbringung der Korrekturen an der Justierung noch übrig bleiben, von der Größenordnung der Ablesegenauigkeit.

In der Praxis der terrestrischen Stereophotogrammetrie hat es sich als zweckmäßig erwiesen, die Länge der Basis so zu wählen, daß das auszuarbeitende Gebiet zwischen dem 5 fachen und 20 fachen der Basis liegt. Bezeichnet man die Länge der Basis mit b, so ergeben sich die Grenzen des Auswertebereiches zu

$$t = 5b \quad \text{und} \quad w = 20b.$$

Setzt man diese Werte in die Formeln 7) und 9) ein, so ergeben sich die Korrekturen ΔH und ΔM zu

$$\Delta H = 9{,}4 \cdot 10^{-6} \cdot b^2. \tag{10}$$

Drückt man die Länge der Basis in Einheiten von 100 Metern, ΔH in Dezimetern aus, so ergibt sich die praktische Rechenformel

$$\Delta H_{(\text{in Dezimetern})} = 0{,}94 \cdot b^2_{(\text{in 100 Metern})}. \qquad 10\text{a})$$

Ferner erhält man aus Formel 9), wenn man die Entfernung E des Zeichenstiftes vom Stationspunkt gleich 600 mm macht und den Ausarbeitungsmaßstab gleich $\frac{1}{m}$ setzt

$$\Delta M = 0{,}6 \cdot m \cdot k \cdot 25 b. \qquad 11)$$

Drückt man hier wieder b in Einheiten von 100 Metern, den Maßstabsnenner m in Tausendern und ΔM in Dezimetern aus, so ergibt sich als praktische Rechenformel

$$\Delta M_{(\text{in Dezimetern})} = 1{,}03 \cdot m_{(\text{in Tausendern})} \cdot b_{(\text{in 100 Metern})}. \qquad 11\text{a})$$

Zusammenfassung.

Es wird gezeigt, wie sich die durch die Wirkung von Erdkrümmung und Refraktion als gekrümmt aufzufassenden Sehstrahlen durch ein Geradenbüschel so ersetzen lassen, daß die Fehlerquadratsumme der optisch-mechanischen Höhenbestimmungen aus Stereophotogrammen innerhalb eines gewissen Entfernungsbereiches ein Minimum wird. Zu diesem Zweck ist bei der Justierung der Auswertemaschine eine Korrektur der Standpunktshöhe und des Markenhorizontes vorzunehmen. Die noch übrig bleibenden Fehler können vernachlässigt werden. Für die Berechnung der Korrekturen werden außer der strengen Ableitung noch Faustformeln für den praktischen Gebrauch gegeben.

Referate.

Wird die Leistung des Auges durch die Farbe der Beleuchtung beeinflußt?

Von Oscar Schneider, *Deutsche Opt. Wochenschr.* ***10.*** *S. 465. 1924.*

Der Verf. hat durch Versuche festzustellen versucht, inwieweit der physiologisch-psychologische Einfluß der Lichtfarbe auf das Auge des Menschen in der Leistung des Sehorgans bemerkbar ist. Bei älteren Untersuchungen solcher Art ist auf die jeweils herrschende Beleuchtungsstärke wenig oder gar kein Gewicht gelegt worden.

Als farbige Lichtquelle benutzte der Verf. Wolfram-Metallfadenlampen mit vorgesetzten Farbfiltern, deren spektrale Lichtdurchlässigkeit er mitteilt. Bei der Versuchsanordnung wurde die geistige Ermüdung der Versuchsperson möglichst verhindert, so daß nur die wirkliche Ermüdung des Sehorgans in Betracht kam. Der Verf. gibt vor anderen Methoden den Leseproben den Vorzug. Der Grad der Ermüdung dabei sollte bestimmt werden durch die Schnelligkeit, mit der eine zweite wesentlich kleinere Druckschrift nach der ersten gelesen wird.

In sehr großer Ausführlichkeit schildert der Verf. in interessanter Weise die großen Schwierigkeiten, die zu überwinden sind, um einwandfreie Versuchsergebnisse zu erhalten. *Kr.*

Photoelektrisches Flimmerphotometer.

Von C. N. B. Dobson, *Proceed. of the Royal Soc.* ***A. 104.*** *S. 248. 1923.*

An der Universität zu Oxford ist zur Bestimmung der Lichtdurchlässigkeit von Platten ein „Flimmer“photometer gebaut worden, das auf folgendem Prinzip beruht.

Das Licht einer elektrischen Glühlampe mit sehr kleinem Faden gelangt auf zwei verschiedenen Wegen in eine photoelektrische Zelle; der eine Lichtstrahl passiert auf seinem Wege die Platte, deren Lichtdurchlässigkeit bestimmt werden soll; der andere Lichtstrahl passiert einen Glaskeil, der so verschoben werden kann, daß die Länge des Weges, den der zweite Lichtstrahl durch den Keil hindurch zurücklegt, verstellbar ist.

Eine vor der elektrischen Glühlampe befindliche rotierende Revolverblende blendet abwechselnd den einen oder den anderen Lichtstrahl ab, so daß die Photozelle von wechselnden Intensitäten getroffen wird und das Galvanometer daher oszilliert; wird der verschiebbare Keil so eingestellt, daß das „Flimmern“ des Galvanometers aufhört, so sind die auf die Photozelle abwechselnd auffallenden Intensitäten gleich und die Lichtdurchlässigkeit der Platte ist damit bestimmt.

Der Apparat soll sehr empfindlich sein; der Verfasser gibt 0.1% als wahrscheinlichen Fehler einer Beobachtungen an. *Dz.*

Eine mechanisch-graphische Interpolationsmethode als Ersatz für die Hartmannsche Dispersionsformel.

Von A. Sonnefeld, *Centralztg. f. Opt. u. Mech.* **45.** *S. 296. 1924.*

Um Brechungsverhältnisse und alle anderen bei der Beobachtung des prismatischen Spektrums direkt erhaltenen Messungsergebnisse, wie Ablenkungen, Skalenteile usw., als Funktion der Wellenlängen darzustellen, wird die alte Methode empfohlen, die gefundenen Werte in Koordinatenpapier mit gewöhnlicher Millimeterteilung einzutragen und durch eine Kurve zu verbinden. Es wird darauf hingewiesen, daß eine solche Dispersionskurve angenähert einer elastischen Linie oder Kettenlinie entspricht, und deshalb zum Kurvenziehen ein elastisches Lineal benutzt, welches man wie einen Bogen so spannt, daß seine Kantenlinie möglichst genau durch die gegebenen Punkte hindurchgeht. Im Gebiet zwischen den Linien C und G' bleiben dann z. B. für Brechungsvermögen die Abweichungen der Kettenlinie von der Größenordnung $\pm$ 5 Einheiten der 5. Dezimale, während sie über dieses Gebiet hinaus sehr erheblich größer werden. Nimmt man daher wie der Verf. nach dieser Methode sogar Extrapolationen vor (die auf jedem Gebiete stets mißlich sind), so können die abgelesenen extrapolierten Werte mit recht beträchtlichen Fehlern behaftet sein; eine etwa vorhandene Regelmäßigkeit in den Differenzenreihen spricht natürlich nicht dagegen. Der Verf. wendet dieses Verfahren auch bei fortlaufenden Teilungen der Meßtrommeln von Spektralapparaten nach Wellenlängen an.

Der Empfehlung dieser alten Methode vermag der Ref. nicht zuzustimmen. Nach seinen Erfahrungen sind solche Aufgaben der Ausgleichung und Interpolation im prismatischen Spektrum schneller und genauer zu lösen, wenn man die schon seit langem allgemein gebräuchlichen Hartmannschen Dispersionsnetze benutzt (für Wellenlängen von 0,33 bis 0,77 μ von der Firma Schleicher und Schüll in Düren im Rheinland zu beziehen). Schon die erste Eintragung der gegebenen Punkte in das Netz liefert hier immer eine nur schwach gekrümmte kreisförmige Linie; aus ihrer Krümmung ist leicht zu finden, um welchen konstanten Betrag die Kopfzahlen des Netzes für die Wellenlängen geändert werden müssen, damit bereits die zweite Eintragung die sehr nahe geradlinige Interpolationskurve ergibt. An solcher geraden Linie ist unschwer zu erkennen, ob die Abweichungen (Fehler) systematischer oder zufälliger Natur sind, d. h. die Gerade hinreichend genau die wirkliche Abhängigkeit der beobachteten Größe von der Wellenlänge wiedergibt. Brechungskoeffizienten z. B. können auf diese Weise mit einer relativen Sicherheit von etwa 2 Einheiten der 5. Dezimale abgelesen werden. Auch eine etwa notwendig vorzunehmende Extrapolation wird hier meist zu richtigeren Werten führen, gegenüber denjenigen, die man mit der gewöhnlichen, stark gekrümmten Dispersionskruve findet. *Schck.*

Anwendung der Kontrasttheorie auf das Fadenmikrometer.

Von A. Kühl. *Central-Zeitung f. Optik u. Mechanik, Elektrotechn. und verwandte Berufszweige.* **45.** *S. 27. 1924.*

Die Arbeit fällt in den Rahmen der Bestrebungen des Verf., die Abweichungen des Bildes, wie es vom Beobachter gesehen und gemessen wird, von der streng geometrisch-optischen Abbildung festzustellen und durch Kontrastwirkung zu deuten. Wie schon in dem Referat Über Wesen und Veränderlichkeit der Konturen optischer Bilder in *dieser Zeitschr.* **42.** *S. 337. 1922* erwähnt ist, tritt nahe der Grenze des geometrisch-optischen Bildes eines leuchtenden Gegenstandes nach innen hin ein heller, und nach außen hin ein dunkler Kontraststreifen auf, und es fragt sich nun, welche Stelle des Bildes der Beobachter bei Ausmessung desselben einzustellen pflegt.

In dem vorliegenden Aufsatz behandelt Verf. das Bild des Mikrometerfadens auf Grund der Kontrasttheorie und verwendet hierbei seine am Großen Refraktor der Münchner Sternwarte von 285 mm Objektivdurchmesser angestellten Messungen. Die Versuche bestanden in der Dickenmessung eines im Gesichtsfeld festen Mikrometerfadens, dem erst von der einen, dann von der anderen Seite ein beweglicher Faden so weit genähert wurde, bis der helle Zwischenraum dem festen Faden an Dicke zu gleichen schien.

Hierbei stellte sich z. B. heraus, daß die gemessene Dicke bei Anwendung stärkerer Vergrößerungen nicht zunahm, wie man auf Grund der geometrischen Optik erwartet hätte, sondern abnahm — ein deutlicher Beweis, daß nicht die geometrisch-optische Begrenzung bei der Auffassung der Grenzen des Bildes maßgebend ist. Durch Vergleichung der Messungsergebnisse mit der berechneten Lage der Kontraststellen ergab sich, daß als Bildgrenze der Mikrometerfäden die Grenze zwischen dem hellen und dunklen Kontraststreifen am Bildrand aufgefaßt wird, welche im allgemeinen mit der geometrisch-optischen Bildgrenze identisch ist, daß aber bei geringer Okularvergrößerung die Bildbreite infolge der Zapfenstruktur der Netzhaut über den theoretischen Grenzwert hinaus vergrößert erscheint. Denn da die Zäpfchen eine immerhin endliche Ausdehnung haben, so haben wir es nicht mit einer stetig, sondern mit einer sprungweise sich ändernden Helligkeitsempfindung zu tun, wodurch die sonst stattfindende Auffassung der Begrenzung eine Störung erleidet. In der Tat glaubt Verf. aus seinen Messungen herauslesen zu können, daß sie immer nur um volle Zapfendurchmesser voneinander abweichen. Da die mitgeteilten Werte jedoch Mittelwerte sind, so läßt sich die Behauptung an ihnen kaum nachprüfen.

Als Okularvergrößerung, welche mindestens angewandt werden muß, damit die Messung von den aus der endlichen Netzhautstruktur herrührenden Fehlern frei sei, findet Verf. die 8- bis 9-fache Normalvergrößerung, wenn unter letzterer diejenige Vergrößerung verstanden wird, bei welcher der Durchmesser der Austrittspupille des Fernrohres gleich dem Durchmesser der Pupille unseres Auges, also gleich 5 mm ist. Bei Fernrohren mit dem Öffnungsverhältnis 1 : 15, bez. 1 : 10 darf die Okularbrennweite demnach höchstens $\frac{5 \cdot 15}{8{,}5} = 9$ mm, bez. $\frac{5 \cdot 10}{8{,}5} = 6$ mm sein, womit die Beobachtungspraxis bekanntlich durchaus übereinstimmt. *Otto Knopf.*

Betrachtung über die Bedeutung der Foucaultschen Messerschneiden-Probe in Anwendung auf brechende Systeme.

Von H. G. Conrady. *Trans. Opt. Soc.* **25.** *S. 219. 1923/24.*

Die Erklärung der verschiedenen Erscheinungen bei der Foucaultschen Messerschneidenmethode führt zur Konstruktion dreidimensionaler Modelle von Lichtkegeln, die mit einer oder zwei Aberrationen behaftet sind. Diese Modelle werden gewonnen aus Gleichungen für die geometrische Auslegung der Seidelschen Abbildungsfehler. Die vom Verfasser vorgenommenen Experimente führen zu folgendem Ergebnis: An Hand der Modelle ist es bei hinreichend großer Ausbreitung der Aberrationen leicht möglich, mit der Messerschneidenmethode ein quantitatives Bild der Fehler zu gewinnen. Die Ausführung der Methode ist so einfach, daß als Schneide von einem geübten Beobachter der Rand der Iris genommen werden kann. *Flügge.*

Ein neues vorzüglich anallatisches Fernrohr mit Innenabbildung.

Von E. Taylor. *Trans. Opt. Soc.* **25.** *S. 200. 1923/24.*

Verf. beschreibt ein Fernrohr, das die Vorzüge der Porroschen Konstruktion mit denjenigen der innen abbildenden Fernrohre vereinigt. Es ist dies erreicht durch Benutzung dreier innerer Linsen, die so angeordnet und beschaffen sind, daß die Strahlen, die zur Entfernungsmessung dienenden Marken genau parallel treffen, unabhängig von der Entfernung der Meßlatte. Das Fernrohr ist also vorzüglich anallatisch und übertrifft die Porrosche Konstruktion sogar noch durch seinen nur sehr geringen Lichtverlust. *Flügge.*

Bücherbesprechungen.

Das Zirkumzenital von Nušl und Frič. Výročni Zpráva za Rok 1923. *4. S. 111 bis 119.* Prag 1924.

Über das Instrument zur Beobachtung von Sterndurchgängen durch einen bestimmten Höhenparallel zum Zweck der Bestimmung der Ortszeit und der Polhöhe des Beobachtungspunkts, das J. J. Frič in Prag nach dem Entwurf von Prof. Nušl vor 20 Jahren gebaut hat, ist in dieser Zeitschrift mehrfach berichtet worden; zuerst *23. S. 214. 1903* (ferner ebend. *S. 370*), dann nach wesentlicher Umarbeitung des Instruments in *28. S. 78. 1908* (u. ebend. *S. 164*) Das Instrument, das in ähnlicher Weise wie das „Astrolabe à prisme" von Claude und Driencourt die Anwendung des launenhaftesten Instrumententeils, nämlich der Libelle, umgeht durch Benutzung eines Hg-Horizonts, hat neuerdings (1923) wieder eine vollständige Umarbeitung erlitten. Eine Beschreibung davon (mit 2 Taf.) und einer ersten Anwendung auf die Polhöhe von Prag durch Major Beneš findet sich in dem oben angegebenen Jahrbuch des militär-geogr. Instituts der tschechoslowakischen Republik (*4* für *1923. S. 111 bis 119*).

Eine weitere Mitteilung über das Nušl-Fričsche Instrument, von demselben Verfasser, Major Dr. Beneš, soll sich im Heft 3 des Jhrg. 1924 des neuen „Bulletin géodésique" finden, (Organ der Abtlg. „Geodäsie" der „Union géodésique et géophysique internationale", von der wir Deutsche bekanntlich ausgeschlossen sind). *Hammer.*

Topographische Abteilung des Bayr. Topogr. Büros, München. Sinustafel für senkrechte Meßlatte. 2 Teile, München 1921.

Bekanntlich stellen die militärisch-topographischen Landesaufnahmen der einzelnen Staaten gern ihre eigenen (Messungs- und Rechnungs-) Hilfsmittel her, besonders auch die Zahlen- oder graphischen Tafeln für die Tachymetermessung (Kotentafeln usw.), So hat auch die bayrische topogr. Landesaufnahme ihre eigenen Tachymetertafeln unter dem (irreführenden) Namen „Sinustafel" in den Buchhandel gebracht. Auch die Figur auf dem Titelblatt zeigt die so oft wiederkehrende Unrichtigkeit: wäre in der Tat bei senkrechter „Meßlatte" E die „schiefe Entfernung", so wäre $D = E \cdot \cos \alpha$ und $h = E \cdot \sin \alpha$ (daher der falsche Name der Tafel) und nicht $D = E \cos^2 \alpha$ und $h = E \cdot \frac{1}{2} \sin 2\alpha$, wie es zutrifft, wenn E die (in der Figur nicht vorhandene) Rechenhilfsgröße $E = c + k \cdot l$, mit $l =$ Lattenabschnitt an der senkrechten Latte ist.

Der erste Teil der vorliegenden Tachymetertafel geht in α von 0^0 bis 15^0, der zweite von 16^0 bis 30^0 mit überall dem Intervall $2'$; die E sind, durchaus mit dem Intevall 1, verschieden abgestuft: sie gehen bis $\alpha = 2^0$ bis 300 m, für $\alpha = 3^0$ bis 250 m usf., bei $\alpha = 15^0$ nur noch bis 100 m und diese Grenze in E, 100 m, ist im 2. Heft durchaus beibehalten.

Die Werte der Höhenunterschiede h sind durch die ganze Tafel bis auf 1 cm genau berechnet. Die Tafel ist recht übersichtlich dadurch, daß die horizontalen E Streifen von 5 zu 5 und von 10 zu 10 durch einen lichten und einen etwas dunkleren grünen Ton hervorgehoben sind, während die vertikalen $10'$ α-Streifen durch einen braunen Ton sich gut abheben.

Die Vervielfältigung der Tafel in autographischem Druck gestattete ferner eine Einrichtung die für manche ähnliche Zwecke Nachahmung verdient: die Zahlentafel der h ist nämlich mit einer graphischen Tafel der D (oder besser $d = E - D$) kombiniert, indem durch gerissene schwarze Linien von Meter zu Meter in $d = E - D$ der Abzug ablesbar gemacht ist, der an E je nach den Argumenten E und α zu machen ist, um E auf die horizontale Strecke e zu reduzieren. Die erste dieser 1 m Abzugslinien d tritt bei dem Umfang der Tafel erst gegen Ende des 3. Grades auf; dagegen drängen sich auf der letzten Seite 30^0 ($32'$ bis $60'$) die 1 m d-Linien von 13 m bis 36 m zusammen, ohne daß übrigens auch hier die Bequemlichkeit der Ablesung von h dadurch leiden würde.

Eine gewisse Inkonsequenz in Beziehung auf die Bestimmung der Tafel teilt sie mit vielen andern Tachymetertafeln: da die h durchaus auf 1 cm angegeben sind, so ist die h-Tafel nicht nur für die topographische Tachymetrie T II, sondern auch für die Präzisions-Tachymetrie T I ausreichend; für diesen zweiten Zweck sind jedoch die Reduktionslinien auf die Horizontale nicht in genügend engem Intervall angegeben. Sollte die Tafel auch für T I vollständig ausreichen (ihr wichtigster Zweck ist und bleibt natürlich T II), so wäre nur im Heft I (über $\pm 15^0$ hinaus-

gehende Höhenwinkel werden ja bei T I vermieden) jene Reduktionszahlenlinien statt von 1 zu 1 m etwa bis zu $\alpha = 10^0$ von 0,1 zu 0,1 m einzutragen, von dort an würden $\frac{1}{2}$ m-Linien genügen. Im 2. Heft wäre wie angedeutet eine Änderung überflüssig. *Hammer.*

A. Berliner, Lehrbuch der Physik in elementarer Darstellung. 3. Aufl. gr. 8⁰. X, 645 S. m. 734 Abb. Berlin, Julius Springer 1924. Geb. 18,60 G.-M.

Wenn ich hier das schön ausgestattete Lehrbuch zur Einführung von Anfängern anzeige und mich dabei meiner ganzen Ausbildung entsprechend auf die Strahlenoptik beschränke, so geschieht das deshalb, weil ich in dem diesem Kapitel zugehörigen 5. Abschnitt „Die Abbildung und ihre Verwirklichung durch optische Instrumente" einen Beitrag finde, der zu dem in dieser Zeitschrift gepflegten Gebiete gerade in besonders hohem Maße paßt.

Daß man in einem einführenden Lehrbuch sorgfältige und zuverlässige Angaben über Entstehung und Ausbreitung des Lichts, über Helligkeit, über Spiegelung, Brechung und Farbenzerstreuung findet, ist nicht verwunderlich, sondern zu erwarten; nach den Darstellungen des ausgehenden 18. Jahrhunderts schon zu urteilen, wurden die meisten hierher gehörigen Begriffe und Anschauungen an verschiedenen Hochschulen vorgetragen und gelangten verständlicherweise allmählich auch in die einführenden Lehrbücher.

Die Erweiterung dieses Besitzes in der Richtung auf eine Theorie der optischen Instrumente hat sich nun der Hauptsache nach abseits von dem Lehrbetriebe der Hochschulen vollzogen. Wenn ja auch schon, durch seine Beziehung zu der Werkstätte C. A. Steinheils angeregt, L. Seidel in München um die Mitte der 50er Jahre des vorigen Jahrhunderts auf Fachleute weitreichend gewirkt hat, so ist eine allgemeine, von der Verwirklichung im einzelnen absehende Lehre — er nannte sie später die Lehre von der Strahlenbegrenzung — doch erst von E. Abbe aufgebaut worden, der wohl Hochschullehrer, aber in seinem Hauptberuf wissenschaftlicher Leiter der Jenaer optischen Werkstätte war. Gewiß hat er darüber von den 70er Jahren ab in seinen Universitätsvorlesungen vorgetragen, doch war sein Schülerkreis viel zu klein als daß er eine merkliche Änderung in dem Lehrstoff der Einführungen in die Optik hätte hervorbringen können. Anderseits war Abbe aber eigenen lehrmäßigen Ausführungen der von ihm geschaffenen Anschauungen im Innern durchaus abgeneigt. Als nun etwa zehn Jahre danach, um die Mitte der 80er Jahre, Abbes ältester Schüler, Siegfried Czapski, diesem Zustande dadurch abzuhelfen suchte, daß er eine eingehende Darstellung der Abbeschen Lehre von den optischen Instrumenten mit besonderer Berücksichtigung der Strahlenbegrenzung für das Winkelmannsche Handbuch übernahm und sie 1893 auch abschloß, da war — und in diesem Verdienste wird Czapskis Name weiterleben — zum ersten Male auch weiteren Gelehrtenkreisen ein Blick auf den von Abbe seit 1871 errichteten Bau ermöglicht. Man kann nicht sagen, daß sich fremde Kräfte nunmehr eifrig zur Weiterarbeit an der Lehre von den optischen Instrumenten gedrängt hätten, dazu war die Anteilnahme der Physiker allzusehr durch andere Aufgaben namentlich aus der Lehre von der Strahlung gebunden, sondern der Schmuck und die innere Einrichtung des Baues blieben im wesentlichen der Abbeschen Schule überlassen. Sie brachte denn auch 1904, noch zu Czapskis Lebzeiten und seiner inneren Anteilnahme gewiß, die 2. Auflage seines Handbuches heraus.

Hier ungefähr setzte des Verfassers Tätigkeit ein; er teilte schon in seinen ersten Auflagen von 1903 und 1911 seinen Lesern die Bedeutung der Lehre von der Strahlenbegrenzung mit, wie ihm dafür durch seine persönliche Berührung mit Czapski und bei der Durcharbeitung der ersten Auflage des Czapskischen Lehrbuches die Augen aufgegangen waren. Zu der Vorbereitung auf die vorliegende neue Ausgabe hat er nun die wichtigeren Weiterführungen der Abbeschen Schule und namentlich die grundsätzliche Erweiterung durch die Berücksichtigung der Augendrehung übernommen, die der technischen Optik nahegebracht zu haben A. Gullstrands großes Verdienst auf diesem Gebiet war. Der Verfasser ist dabei im großen und ganzen so weit gegangen, wie Czapskis zweite Auflage von 1904. Daß er freudig und anhänglich das Verdienst des verstorbenen Freundes und Lehrers an verschiedenen Stellen hervorhebt, ehrt den einen nicht weniger als den andern.

Man kann nun knapp und klar ein Verdienst der 3. Auflage Berliners damit ausdrücken, daß er Abbes Lebenswerk für das Verständnis der optischen Instrumente nach der erweiterten Czapskischen Fassung in den Lehrstoff für Anfänger eingeschlossen hat: wenn also auch solch ein

Leser von den Begriffen der Helligkeitsverteilung auf der Bildebene, der Abbildungstiefe und der Perspektive, von der Bedeutung der Blenden für die Erweiterung der Abbildungsgrenzen, von dem Sehvorgang beim Blicken, kurz den wichtigsten Aufgaben und Leistungen der neuzeitlichen Instrumentenoptik eine klare Vorstellung erhält, dann ist das unbestritten des Verfassers Verdienst, und gerade Czapski würde es freudig anerkennen.

Da es nun einmal zu den Aufgaben des Berichtenden gehört, auch Ausstellungen zu machen, so mag hier darauf hingewiesen werden, daß in einer weiteren Auflage die Wirkung der beiden rechtwinkligen Winkelspiegel in dem Porroschen Prismensatz (S. 581) beim Prismenfernrohr besser durch Zurückgreifen auf die Leistung des Winkelspiegels (auf S. 513) erklärt werden würde. — Die Lebensdauer J. Fraunhofers in der lehrreichen Zeittafel der Physiker von besonderer Bedeutung sollte aber wesentlich kürzer dargestellt werden, da er schon 1826 abgerufen wurde. — Wenn schließlich auf S. 561 die Bedeutung des Augendrehpunktes mit meinen Worten vom Jahre 1905 geschildert wird, so ziemt sich für mich an dieser Stelle die Feststellung, daß mir diese wichtige, schöne und einfache Lehre Chr. Scheiners erst durch A. Gullstrand vermittelt worden ist: ohne seinen Hinweis wäre ich wohl noch lange auf diesem Gebiet im Dunkel geblieben.

Unserem Verfasser aber sei für seine mühevolle Arbeit lebhaft gedankt und zu seinem Erfolg aufrichtig Glück gewünscht. *M. v. Rohr.*

Lotte Moeller, Die Deviation bei Strommessungen im Meere. Berlin, E. S. Mittler & Sohn.

Eine Arbeitsgemeinschaft der Marineleitung, der Deutschen Seewarte und des Instituts für Meereskunde hat es ermöglicht, die physikalische Untersuchung der Nordsee und ihrer Nebengewässer wieder aufzunehmen und in erfreulicher Weise zu fördern. In den Jahren 1921—1923 sind durch sie auf insgesamt 7 Fahrzeugen 8000 Strommessungen und 15000 Tiefenhubmessungen vorgenommen, welche im Institut für Meereskunde ausgewertet werden.

Die starke Deviation, welche die verwendeten Magnetstrommesser zeigten, nötigten zu einer Voruntersuchung, welche Fräulein Moeller übernahm und in den Veröffentlichungen des Instituts für Meereskunde an der Universität Berlin zum Abdruck gelangte. Die Verhältnisse gestatten nicht, an dieser Stelle mehr als einen Überblick der praktischen Ergebnisse mit anzugeben.

1. In geringen Tiefen erreichte der Maximalwert der Deviationsfehler 70—100°. Ihr Durchschnittswert betrug 25—45°.

2. Die Tiefe, in welcher die Deviation Beträge $\pm 5^{0}$ erreicht, konnte berechnet werden. Sie beträgt für große eiserne Schiffe etwa 30°, für Peilboote 10—12°, für ein hölzernes Fahrzeug 5—6 o.

Durch Anwendung indirekter Methoden wurde es ermöglicht, andere ältere Beobachtungen auszuwerten. So wurde festgestellt, daß der Stromverlauf auf den Stationen fast aller deutschen Feuerschiffe zusammenstimmende Resultate für die verschiedenen Tiefen liefert, was nach früheren Angaben nicht der Fall war. Diese Tatsache ist von wesentlicher Bedeutung. *Adolf Mensing.*

R. Lenz, Die Rechenmaschinen und das Maschinenrechnen. 2. Aufl. 8°. VI und 108 S. mit 42 Abb. Leipzig, Teubner, 1924. Kart. 3 M.

Anlage und Bestimmung des kleinen Buches, über dessen 1. Auflage seinerzeit hier berichtet wurde, sind dieselben geblieben: es soll nicht dem Rechenmaschinen-Fachmann dienen, sondern dem eine Rechenmaschine suchenden oder bereits besitzenden Laien die Grundbegriffe der Rechenmaschine klarmachen. Und die vorliegende neue Auflage wird diesem Zweck abermals trefflich gerecht werden können, da sie auch die wichtigsten Änderungen und Vervollkommnungen der letzten Jahre nach Möglichkeit berücksichtigt. Behandelt werden in „Rechenvorrichtungen", bei denen freilich z. B. der logarithmische Rechenschieber sich mit 4 Zeilen begnügen muß und die graphischen Rechenvorrichtungen gar nicht erörtert werden können; und sodann die Rechenmaschinen i. e. S.: I. Addiermaschinen ohne und mit Druckwerk (Staffelwalzen-, Sprossenrad-, Hamannsche Maschinen); II. von den Multipliziermaschinen mit Recht nur Steiger-Egli; endlich III. die Schreibrechenmaschinen, bekanntlich meist amerikanische Provenienz. Von Interesse ist besonders auch die vergleichende Übersicht aller Rechenmaschinensysteme (S. 95 ff.), sowie das Programm einer bis jetzt nicht (und wohl nie) vorhandenen „idealen Rechenmaschine" (S. 98 ff.). *Hammer.*

Nachdruck verboten.

Verantwortlich für die Redaktion: Oberregierungsrat Professor Dr. F. Göpel in Charlottenburg.
Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Kuratorium:

Prof. Dr. D. h. c. **H. Krüss**, Vorsitzender, Prof. Dr. **R. Straubel**,
Prof. Dr. **F. Weidert**, geschäftsführendes Mitglied.

Schriftleitung: Oberregierungsrat Prof. Dr. **F. Göpel** in Charlottenburg-Berlin.

XLV. Jahrgang. **Mai 1925.** Fünftes Heft.

Über die Tiefe der Bilder optischer Systeme.

Von
Prof. Dr. D. h. c. **Hugo Krüss** in Hamburg.

In gegebener Veranlassung[1]) habe ich mich wieder mit dem in der Überschrift genannten früher bereits einmal von mir behandelten[2]) Thema beschäftigt.

Man sagt, ein Apparat liefere tiefe Bilder, wenn er von ungleich weit entfernten Objekten in derselben Ebene gleichzeitig deutliche Bilder zu erzeugen vermag, oder wie Richter a. a. O. sich ausdrückt, wenn diese Bilder eben noch merklich scharf abgebildet werden. Beide Definitionen sind ziemlich unbestimmt und lassen einen gewissen Spielraum offen. Es ist klar, daß eine Tiefe der Bilder unmöglich ist, wenn absolut scharfe Bilder verlangt werden, also daß die Größe der Tiefe davon abhängig ist, welche Unschärfe noch zugelassen wird. Das wird verschieden sein, je nachdem das Bild entweder mit bloßem Auge oder etwa durch ein vergrößerndes System betrachtet wird. Will man demgemäß formel- oder zahlenmäßig die Tiefe eines Systemes bestimmen, so hat man sich zuerst darüber klar zu werden, welchen Durchmesser man im Maximum dem tatsächlich erzeugten Zerstreuungskreis, der noch als Punkt wahrgenommen wird, zubilligen will.

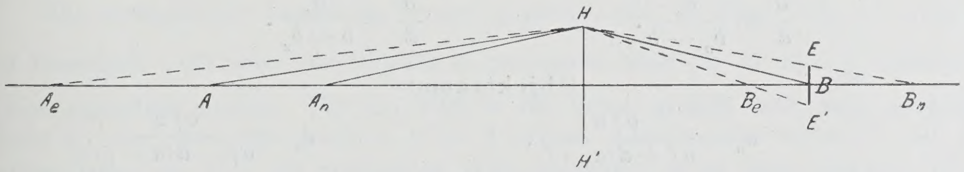


Fig. 1.

Zur Veranschaulichung des Angeführten diene Fig. 1. Hier sei $HH' = 0$ die Öffnung bzw. die Hauptebene des optischen Systems. Dasselbe bilde einen auf seiner Achse befindlichen Punkt A in dem Punkte B ab. Die durch B senkrecht zur Achse gelegte Ebene ist die Bildebene. In ihr sei $EE' = d$ der zulässige Durchmesser des Zerstreuungskreises. Dann wird ein näher am System auf der Achse liegender Punkt A_n, dessen Bild in B_n liege, dann noch genügend scharf abgebildet, wenn der von ihm nach dem Rande A der Öffnung gesandte Strahl nach der Brechung durch den Punkt E geht. Desgleichen wird auch ein entfernter als A auf der Achse liegender Punkt A_e noch genügend scharf in B_e abgebildet, wenn sein gebrochener Strahl B_e durch den Punkt E' geht.

[1]) Siehe Referat in *dieser Zeitschr.* ***45.*** *S. 99. 1925* über Rob. Richter. Die Einteilung der Entfernungsskala photographischer Objektive. *Centralztg. f. Opt. u. Mech.* ***45.*** *S. 236. 1924.*

[2]) *Pogg. Ann.* ***157.*** *S. 476. 1876.*

Die Entfernungen von der Hauptebene $H H_1$ sollen nun folgendermaßen bezeichnet werden:

für Punkt $A = a$	für Punkt $B = b$
„ „ $A_n = a_n$	„ „ $B_n = b_n$
„ „ $A_e = a_e$	„ „ $B_e = b_e$.

Für jeden Punkt A im Objektraum gibt es also eine Tiefe in die Nähe $T_n = a - a_n$ und eine Tiefe in die Ferne $T_e = a_e - a$, so daß die Gesamttiefe

$$T = T_n + T_e = a_e - a_n$$

ist. Damit wird für gewöhnlich die Tiefe eines Systemes bezeichnet, das ist also eine Strecke, auf welcher jeder Punkt durch das System noch genügend scharf abgebildet wird.

Man kann aber ebenso gut von einer Tiefe im Bildraume sprechen und hat auch hier eine Tiefe in der Nähe, nämlich $t_n = b_n - b$, und eine solche in der Ferne $t_e = b - b_e$, so daß die Gesamttiefe $t = t_n + t_e = b_n - b_e$ ist. Diese Größe gibt ein Maß an für die Genauigkeit, mit welcher eingestellt werden muß, damit das Bild noch genügend scharf erscheint.

Zur Aufstellung von Formeln für diese Größen wird die bekannte Beziehung zwischen der Brennweite f des Systems und den Entfernungen von Objekt und Bild von der Hauptebene benutzt, so wie die aus den Dreiecken $H B B_n$ und $H B B_e$ sich ergebende Beziehung.

Man erhält dadurch die folgenden Gleichungen:

Tiefe in die Nähe:

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f},$$

$$\frac{1}{a_n} + \frac{1}{b_n} = \frac{1}{f},$$

$$\frac{o}{d} = \frac{b_n}{b_n - b}.$$

Tiefe in die Ferne:

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}.$$

$$\frac{1}{a_e} + \frac{1}{b_e} = \frac{1}{f},$$

$$\frac{o}{d} = \frac{b_e}{b - b_e}.$$

Objektraum:

$$a_n = \frac{o f a}{o f + d(a - f)}, \qquad a_e = \frac{o f a}{o f - d(a - f)},$$

$$T_n = a - a_n = \frac{a d (a - f)}{o f + d (a - f)}, \qquad T_e = a_e - a = \frac{a d (a - f)}{o f - d(a - f)},$$

Gesamttiefe:

$$T = T_n + T_e = \frac{2 a f o d (a - f)}{o^2 f^2 - d^2 (a - f)^2}.$$

Bildraum:

$$b_n = \frac{o b}{o - d}, \qquad b_e = \frac{o b}{o + d},$$

$$t_n = b_n - b = \frac{d u f}{(o - d)(a - f)}, \qquad t_e = b - b_e = \frac{d a f}{(o + d)(a - f)},$$

Gesamttiefe:

$$t = t_n + t_e = \frac{2 a f o d}{(o^2 - d^2)(a - f)}.$$

Da man in dem Ausdruck für die Gesamttiefe im Objektraum die Größe $d^2(a-f)^2$, welche immer sehr klein ist, vernachlässigen kann, so kann man

$$T = \frac{2\,a\,d\,(a-f)}{o\,f}$$

setzen. Diese Gesamttiefe im Objektraum ist porportional der Größe d, dem Maximaldurchmesser des noch als Punkt wahrgenommenen Zerstreuungskreises und umgekehrt proportional der wirksamen Öffnung o des Systems.

Die Tiefe im Bildraum ist dagegen proportional sowohl der wirksamen Öffnung o des Systems als dem Maximaldurchmesser d der kleinsten Zerstreuungskreise, was ja auch unmittelbar aus Fig. 1 zu entnehmen ist.

Ein besonderer Fall ist gegeben, wenn die Entfernung a unendlich groß wird, d. h. wenn das optische System auf ein unendlich entferntes Objekt eingestellt ist. Dann ist $\frac{1}{a} = o$ und $b = f$. Infolgedessen herrschen hier folgende Beziehungen:

Objektraum:

$$\frac{o}{d} = \frac{b_n}{b_n - f} = \frac{a_n}{f}, \qquad \frac{o}{d} = \frac{b_e}{f - b_e} = -\frac{a_e}{f},$$

$$a_n = \frac{o}{d} f, \qquad a_e = -\frac{o}{d} f,$$

$$T_n = a - a_n = \infty. \qquad T_e = a_e - a = -\infty.$$

Bildraum:

$$b_n = \frac{o\,f}{o-d}, \qquad b_e = \frac{o\,f}{o+d},$$

$$t_n = b_n - b = \frac{d}{o-d} f, \qquad t_e = b - b_e = \frac{d}{o+d} f,$$

$$t = t_n + t_e = \frac{2\,o\,d}{o^2 - d^2} f.$$

Die vorstehenden Ausdrücke besagen zunächst, daß bei Einstellung des Systems auf Unendlich auch noch alle Objekte in geringerer Nähe bis zu $a_n = \frac{o}{d} f$ genügend scharf abgebildet werden. Für die Tiefe in die Ferne gelangt man dann zu einem Punkt a_e, von dem die Strahlen nicht divergent, sondern konvergierend auf das System fallen, ein Fall, der gewöhnlich nicht vorkommt, es sei denn, daß etwa durch eine vorgesetzte Linse die Strahlen, die vom Objekt kommen, derart konvergierend gemacht werden. Unter dieser Voraussetzung hat dann auch die Tiefe t_e in die Ferne für den Bildraum und die Gesamttiefe $t = t_n + t_e$ einen Sinn.

Dagegen bedarf der formelmäßig richtige Ausdruck $T_n = \infty$ noch der Erläuterung, daß die unendlich lange Strecke T_n in der Entfernung a_n von der Hauptebene $H H_1$ ihren Anfang nimmt; das Entsprechende gilt für T_e.

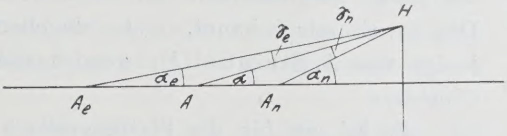


Fig. 2.

Ein anschaulicheres Bild dieser Verhältnisse gewinnt man, wenn man die Tiefen nicht in Strecken, sondern in Winkeln ausdrückt. Es mögen in Fig. 2 H, A_n, A und A_e dieselbe Bedeutung haben wie in Fig. 1. Dann ist $\gamma_n = \alpha_n - \alpha$ der Winkelwert für die Tiefe in der Nähe und $\gamma_e = \alpha - \alpha_e$ der Winkelwert für die Tiefe in die Ferne. Der Winkelwert der Gesamttiefe ist dann $\gamma = \gamma_n - \gamma_e = \alpha_n - \alpha_e$.

Befindet sich der scharf eingestellte Objektpunkt im Unendlichen, so ist der Winkel $\alpha = o$ und $\alpha_e = -\alpha_n$, so daß die Gesamttiefe in Winkelmaß ausgedrückt $\gamma = 2\,\alpha_n$ ist.

An dieser Stelle soll kurz eingegangen werden auf die oben angeführten Ausführungen Robert Richters, die eigentlich die vorstehenden Untersuchungen veranlaßten.

Richter bezeichnet mit e die Entfernung eines Objektes vom vorderen Brennpunkt des Objektives, welches gleichzeitig mit dem Bild eines unendlich entfernten Gegenstandes eben noch merklich scharf abgebildet wird. Die Größe e entspricht also der Größe $a_n - f$ in den vorstehenden Entwicklungen, wenn $a = \infty$ gesetzt wird. Diese Größe e nennt er die Tiefe des Objektivs. Das entspricht nicht der gegebenen Definition der Tiefe. Diese bezieht sich darauf, daß außer einem scharf eingestellten Gegenstand alle bis zu einem näher gelegenen sowie bis zu einem entfernteren Punkte auf der Achse befindlichen Punkte noch genügend scharf abgebildet werden. Die Tiefe ist also die Strecke zwischen dem näheren und dem entfernteren Punkte $(T_n + T_e)$ und nicht die Entfernung eines dieser Punkte vom vorderen Brennpunkte des Objektivs.

Richter folgert weiter, daß für den von ihm angezogenen Fall, daß $a = \infty$ ist, die Tiefe im Bildraum $\frac{f^2}{e}$ sei. Denn nach den vorstehenden Entwicklungen würde sein

$$e = a_n - f = f\frac{o - d}{d}$$

und

$$b_n - f = \frac{of}{o - d} - f = f\frac{d}{o - d} = \frac{f^2}{e}.$$

Richter untersucht nun, welche Entfernung die Teilstriche auf der Entfernungsskala eines Objektivs haben müssen, damit geschätzte Zehntel diese Entfernung nicht mehr als die Größe $\frac{f^2}{e}$ von der Wirklichkeit abweichen. Dazu ist bemerken, daß diese von ihm als konstant angesehene Größe $\frac{f^2}{e}$ nur für die Tiefe in der Nähe in bezug auf einen unendlich entfernten Gegenstand gilt und daß sie einen etwas abweichenden Wert hat für Gegenstände in endlicher Entfernung, entsprechend den vorstehend gegebenen Formeln, wie weiter an einem Beispiel gezeigt werden soll.

Als Beispiel soll ein photographisches Objektiv genommen werden, da die Tiefe der Bilder hauptsächlich bei solchen in Betracht kommt und von Wichtigkeit ist. Die, soweit mir bekannt, erste eingehendere Behandlung unseres Gegenstandes, diejenige von A. Steinheil[1]), wendet sich auch besonders auf die photographischen Objektive.

Es sei ein für die Plattengröße 9×12 cm geeignetes Objektiv angenommen. In den Verzeichnissen dieser Objektive wird vielfach ihre wirksame Öffnung zu 20 mm angenommen und das Verhältnis der Öffnung zur Brennweite wird 1 : 6,8. Es sei deshalb die Brennweite dieses Objektivs $f = 140$ mm gesetzt. Sehr schwierig, wenn nicht unmöglich, ist es, eine als unbedingt richtig anzuerkennende Annahme für den zulässigen Durchmesser d zu treffen, der als Maß für die noch nicht wahrnehmbare

[1]) Das Prüfen und Wählen der Photographen-Objektive. *Photograph. Korrespondenz S. 59. 1869.*

Unschärfe dienen soll. Steinheil nimmt als Deutlichkeitsgrenze 0,2 mm an, d. h. das Bild eines Punktes darf den Durchmesser von 0,2 mm, aber keinen größeren annehmen, wenn es noch für deutlich erklärt werden soll. Das scheint mir auf Grund der folgenden Erwägungen reichlich groß zu sein.

Nach den Ausführungen von Helmholtz[1]) können zwei helle Punkte nur dann als zwei erkannt werden, wenn der Abstand ihrer Bilder größer ist als die Breite eines Netzhautelementes, da sonst beide Bilder entweder nur auf ein einziges oder auf zwei benachbarte Elemente fallen würden. Im ersteren Falle würden beide nur eine einzige Empfindung erregen, im zweiten zwar zwei Empfindungen, aber in benachbarten Nervenelementen, wobei nicht unterschieden werden könnte, ob zwei gesonderte Lichtpunkte oder einer da ist, dessen Bild auf die Grenze beider Elemente fällt. Erst wenn der Abstand der beiden hellen Bilder voneinander größer ist als die Breite eines empfindlichen Elementes, erst dann können die Bilder auf zwei verschiedene Elemente fallen, die sich nicht berühren und zwischen denen ein Element zurückbleibt, welches nicht vom Licht getroffen wird.

Nun beträgt die Dicke der Zapfen im gelben Fleck des Auges rund 0,005 mm. Diese Größe entspricht einem Gesichtswinkel von 1 Minute. Bei einer mittleren Sehweite von 250 mm ist die einem Gesichtsfeldwinkel von einer Minute entsprechende Größe 0,073 mm. Ein kleiner Kreis, dessen Durchmesser größer ist, würde also nicht mehr nur eine einzige Lichtempfindung hervorrufen, nicht mehr als Punkt wahrgenommen werden. Als höchste zulässige Grenze für den Durchmesser d scheint mir deshalb 0,1 mm gegeben.

Darin bestärkt mich noch folgende Erfahrung. Bei einem in Millimeter geteilten Maßstabe kann man mittels eines Nonius noch gut 0,1 mm ablesen. Man unterscheidet, wenn ein Noniusstrich mit einem Strich der Millimeterteilung zusammenfällt, ganz deutlich die Abweichungen der beiden Striche rechts und links von den entsprechenden Millimeterstrichen. Würde man also diese beiden Noniusstriche über die Millimeterteilung fortgetzt denken, so würde eine Verbreiterung der betreffenden Millimeterstriche, also eine Unschärfe, gewiß wahrnehmbar sein. Auch hiernach ist 0,1 mm schon fast zu groß als Annahme für den Durchmesser d.

Es muß hier noch bemerkt werden, daß diese Überlegungen für den zulässigen Durchmesser des nicht als Unschärfe wahrnehmbaren Durchmessers d des Zerstreuungsbildes voraussetzen, daß das vom Objektiv in der Bildebene erzeugte Bild an sich haarscharf ist.

Unter den gemachten Voraussetzungen ergeben sich nun folgende numerische Daten: (Siehe Tabelle folgende Seite.)

Hierzu ist zu bemerken, daß die für den unendlich entfernten Objektpunkt ($a = \infty$) in den Spalten T_e und T_n angegebenen Ziffern nicht die eigentlichen Tiefen darstellen, sondern die Größe a_e und a_n. Darauf ist schon bei der Entwicklung der Formeln hingewiesen worden.

Von den Tiefen im Bildraum sollte t_e immer kleiner als t_n sein. Es ist das tatsächlich auch der Fall, aber der Unterschied wirkt sich in den meisten Fällen ers in der dritten Dezimale aus. Es ist z. B. für a_∞ $t_e = 0{,}6965$ und $t_n = 0{,}7035$. Die Größen dieser Tiefen sind nahezu dieselben für alle Entfernungen des scharf eingestellten Objektpunktes, sie wachsen mit Verringerung der Entfernung nur von 0,70 bis 0,82 und in starkem Maße erst bei den kürzeren Entfernungen.

[1]) Handbuch der physiolog. Optik, *S. 215. 1867.*

$f = 140$ mm; $0 = 20$ mm; $d = 0{,}1$ mm.

Objektraum			Bildraum		
T_e m	a m	T_n m	t_e mm	b mm	t_n mm
(— 28)	∞	(+ 28)	0,70	140,00	0,70
57,32	20	12,11	0,70	140,98	0,71
10,26	15	5,20	0,71	141,32	0,71
5,44	10	2,61	0,72	141,99	0,72
4,18	9	2,17	0,71	142,21	0,72
3,12	8	1,76	0,71	142,50	0,72
2,06	7	1,38	0,71	142,86	0,72
1,62	6	1,25	0,71	143,33	0,72
1,06	5	0,78	0,72	144,03	0,73
0,63	4	0,48	0,72	145,08	0,73
0,34	3	0,28	0,73	146,85	0,74
0,14	2	0,13	0,75	150,54	0,76
0,08	1,5	0,07	0,77	154,41	0,78
0,03	1	0,03	0,80	162,79	0,82

Die in der Spalte für b angegebenen Zahlen bilden die eigentliche Entfernungsskala des Objektivs. Bis zu einer Entfernung des Objektivs von 7 m beträgt der Unterschied der Einstellung für je 1 m Veränderung in der Entfernung weniger als 0,5 mm. Man wird also, wenn man als Anfang der Entfernungsskala die Einstellung für $a = \infty$ ($b = 140{,}00$) annimmt, etwa für $a = 10$ m einen Teilstrich ($b = 141{,}3$) und für $a = 7$ m ($b = 142{,}9$) angeben, eine Schätzung in Zehntel dieser Intervalle kommt nicht in Betracht. Solches findet höchstens für kleinere Entfernungen statt. Es ist z. B. die Entfernung zwischen den beiden Teilstrichen für $a = 1{,}5$ und $a = 1{,}0$ 8,4 mm, die richtig geschätzten Zehntel dieses Intervalls sind also 0,84 mm. Nach Rob. Richters Forderung soll der Unterschied zwischen der Schätzung und der richtigen Einstellung nicht größer werden als $\frac{f^2}{e}$, das ist in vorliegendem Falle 0,7 mm. Die Schätzung wird also unter allen Umständen hier richtig werden.

Das trifft selbstverständlich nur auf das umstehend betrachtete Beispiel zu. Die Größenverhältnisse der Entfernungsskala sind andere bei geringerer wirksamer Öffnung oder bei größererer Brennweite des Objektivs. Zur Erläuterung seien noch zwei kurze Beispiele gegeben.

Es sei bei der Objektentfernung von 3 m einmal die Öffnung des Objektivs wie bisher 20 mm. Das andere mal 10 mm bei der bisher angenommenen Brennweite von 140 mm. Ferner sei ein Objektiv von der doppelten Brennweite, nämlich 280 mm angenommen, aber mit demselben Öffnungsverhältnis 1 : 7, so daß $0 = 40$ mm wird.

Die ziffernmäßigen Ergebnisse, deren Verhältnis zueinander auch schon ohne weiteres aus den entsprechenden Formeln sowie aus Fig. 1 zu ersehen sind, zeigt die folgende Zusammenstellung.

f	o	Objektraum			Bildraum		
		T_e	a	T_n	t_e	b	t_n
mm	mm	m	m	m	mm	mm	mm
140	20	0,34	3	0,28	0,73	146,85	0,74
140	10	0,77	3	0,50	1,44	146,85	1,48
280	40	0,12	3	0,07	0,77	308,82	0,78

Bei Verringerung der wirksamen Öffnung 0 wird die Tiefe im Objektraum wie im Bildraum größer und zwar nahezu im umgekehrten Verhältnis zur Verringerung der Öffnung. Es verlaufen aber, da die zulässige Größe des Zerstreuungsbildes ($d = 0{,}1$ mm) dieselbe geblieben ist, alle Strahlen unter kleinerem Winkel gegen die Achse, ihre Schnittpunkte mit der Achse sind also weiter von dem scharf eingestellten Objektpunktsbogen von dessen Bild entfernt.

Verwendet man ein Objektiv mit doppelt so großer Brennweite, aber demselben Öffnungsverhältnis, so ändert sich im Bildraum in bezug auf die Tiefe wenig, in Objektraum nimmt sie stark ab, da hier die Strahlen unter größerem Winkel gegen die Achse verlaufen.

Im allgemeinen ist noch hervorzuheben, daß die Tiefe im Objektraum um so größer ist, je größer bei derselben Brennweite des Objektivs die Entfernung des Objektes, je stärker also die Verkleinerung des aufgenommenen Bildes ist. Darauf machte schon A. Steinheil besonderes aufmerksam und empfahl, wenn man z. B. Porträtaufnahme in erheblicher Größe herstellen will, zunächst ein stark verkleinertes Negativ herzustellen, welches eine große Tiefe besitzt, und von diesem kleinen Negativ dann eine Vergrößerung herzustellen.

Die vorstehenden Ausführungen treffen für alle optischen Systeme zu mit Ausnahme eines einzigen, das ist das menschliche Auge. Bei diesem handelt es sich bekanntlich beim Sehen in verschiedenen Entfernungen nicht um ein unveränderliches System, sondern das Auge akkommodiert auf die betreffende Entfernung durch Krümmung der Linse. Konstant bleibt die Länge des Auges. Bei einem normalsichtigen Auge ist dieses die Brennweite f beim Sehen auf Unendlich. Für jede besondere Entfernung a ist also ein von dieser Entfernung abhängige Brennweite f_1 anzunehmen, die nach dem Ausgeführten aus der Beziehung

$$f_1 = \frac{a f}{a + f}$$

hervorgeht.

Setzt man diese anstatt der Brennweite f in die im vorstehenden gegebenen Formeln für die Tiefe im Objektraum ein, so erhält man

$$T_n = \frac{a^2 d}{o f - a d}, \qquad T_e = \frac{a^2 d}{o f + a d},$$

und die Gesamttiefe

$$T = \frac{2 a^2 d o f}{o^2 f^2 - a^2 d^2}.$$

Im Bildraum bleiben die Verhältnisse dagegen für alle Entfernungen konstant, nämlich

$$t_n = \frac{d}{o - d} f, \qquad t_e = \frac{d}{o - d} f,$$

$$t = \frac{2 o d}{o^2 - d^2} \cdot f.$$

Um Zahlenwerte zu gewinnen, sei die hintere Brennweite des Auges mit 20 mm angenommen. Das scheint berechtigt, da Helmholtz dafür 19,875 mm[1]), Listing 20,0746 mm[1]) dafür ansetzt. Die Öffnung o der Pupille ist je nach der Intensität

---

[1]) Helmholtz, Physiol. Optik *S. 161. 1862.*

[1]) J. B. Listing, Dioptrik des Auges in R. Wegners Handwörterbuch der Physiologie **4.** *S. 451. 1854.*

des auf sie fallenden Lichtes bekanntlich sehr veränderlich. Sie sei für unser Beispiel $= {}^1/_6 f$ angenommen. Als Maximaldurchmesser des noch als Punkt auf der Netzhaut wahrgenommenen Zerstreuungskreises wurde bereits in den vorstehenden Ausführungen der Durchmesser der Zapfen der Netzhaut mit $d = 0{,}005$ mm angenommen.

Mit diesen Daten ergibt sich die folgende Tabelle

Objektraum			Bildraum		
T_e m	a m	T_n m	t_e mm	b mm	t_n mm
(13,33)	∞	(13,33)	0,03	20	0,03
0,08	1	0,07	0,03	20	0,03
0,12	0,4	0,12	0,03	20	0,03
0,05	0,25	0,06	0,03	20	0,03

Für die bei $a = \infty$ eingesetzten Zahlen gilt dasselbe wie bei den früheren Zusammenstellungen. Ihre Bedeutung ist, daß Strahlen, welche aus einem Punkte kommen, der um $13^1/_3$ m vor dem Auge liegt, oder auf einen Punkt zielen, der ebensoweit dahinter liegt, auf der Netzhaut einen Zerstreuungskreis bilden, der noch als Punkt wahrgenommen wird. Oder anders ausgedrückt: Das auf Unendlich eingestellte Auge braucht für alle Entfernungen bis zu $13^1/_3$ m herab überhaupt nicht zu akkommodieren.

Über die Konstruktion eines Mikromanometers.

Von
Walter Block.
(Mitteilung aus der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt.)

In dem Laboratorium für Gasmesser der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt fehlte es für viele Untersuchungen an einem genauen hochempfindlichen Mikromanometer. Die Bedingungen, die an ein solches Gerät für die besonderen Zwecke derartiger Prüfungen in diesem Laboratorium zu stellen sind, sind ein wenig anders als sonst vielleicht. Insbesondere spielt die Frage der Größe der toten Räume keine wesentliche Rolle. Es ist eine erhebliche Meßgenauigkeit erwünscht, aber die Schnelligkeit der Einstellung ist nicht so wichtig; sie muß indessen ausreichend sein, die periodischen Druckschwankungen eines Gasmessers beim Umlauf der Crosley-Trommel oder beim Bewegen der Balgen der trockenen Messer ohne merkliche Trägheit anzuzeigen. Da man aber bei solchen Untersuchungen es häufig in der Hand hat, diese Bewegungsgeschwindigkeit nicht allzu groß zu wählen, ist eine gewisse Trägheit des Manometers nicht von ausschlaggebender Bedeutung.

Der Verfasser unternahm es, ein geeignetes Instrument zu bauen, und in nachstehendem soll darüber berichtet werden.

Als Typus des Instruments kam aus naheliegenden Gründen nur der Typus des Recknagel-Manometers[1]) in Frage, das erfahrungsmäßig bei relativ einfacher Form etwa das leistet, was für den vorliegenden Fall erwartet wird. Als normaler Meßbereich genügt im Grunde einer bis 50 mm Wassersäule, da für die übliche eichamtliche Prüfung von Gasmessern ein normaler Druck von 40 mm Wassersäule vorgeschrieben

---

[1]) Vgl. z. B. L. Litinsky, Messungen großer Gasmengen, Leipzig 1922 *S. 40ff.*; A. Gramberg, Technische Messungen, Berlin 1923, 5. Aufl. *S. 65.*

ist. Um das Instrument aber vielseitiger verwendbar zu machen, sollte es mit mehreren Meßbereichen ausgeführt werden, und es wurde daher so gebaut, daß die Meßkapillare mit einer hundertteiligen Skala versehen wurde und auf die Meßbereiche 0 bis 10 mm, 0 bis 20 mm, 0 bis 50 mm, 0 bis 100 mm und 0 bis 150 mm eingestellt werden konnte. Dann kann man aus den Lesungen an der Skala durch einfache Multiplikation mit einem runden Faktor den wahren Druck erhalten, also in ähnlicher Weise, wie es bei elektrischen Meßgeräten für Laboratoriumszwecke seit langem gebräuchlich ist.

Das Prinzip der Konstruktion ist ja bekanntlich so: Die zu messende Druckdifferenz wirkt auf die beiden Schenkel eines mit Flüssigkeit gefüllten U-förmigen Rohres. Der eine, der feste Schenkel, hat einen großen Querschnitt, der zweite einen kleinen, so daß sich beim Anlegen des Druckes der Flüssigkeitsstand im ersten nur wenig ändert. Die Standänderung im zweiten Schenkel, dem eigentlichen Meßschenkel, wird dadurch vergrößert, daß er in geeigneter Weise schräge gelagert wird.

Die beigefügte Figur zeigt das fertige Instrument (Fig. 1). Das Ganze ist auf einem T-förmigen Untergestell mit Rippenversteifung montiert. Auf diesem steht etwa in der Verbindungsstelle der beiden Balken der feste Schenkel des Manometers von etwa 65 mm Weite, aus einem Stahlrohr mit etwa 4 mm Wandstärke gedreht und innen sauber ausgeschliffen. Die Schleifarbeit ist so weit getrieben, daß das Innere des Rohres auf einige Hundertstel Millimeter genau kreisförmigen Querschnitt hat, und daß die mittleren Durchmesser unten und oben auf 0,01 mm genau übereinstimmten. Die Messung ließ sich in einfacher und ausreichend genauer Weise derart ausführen, daß mit einem sehr guten Schraubenmikrometer der üblichen Form von Zeiss die Außendurchmesser des Rohres an genügend vielen Stellen gemessen und mit einem zweiten ähnlicher Art, aber mit Kugelkontakt an der Gegenlagerseite und mit tief ausgearbeitetem Bügel, an den gleichen Stellen die Wandstärken ermittelt wurden. So ergab sich die lichte Weite. Die Mikrometer waren mit Endmaßnormalen geprüft. Das Rohr ist unten durch einen eingelöteten Boden verschlossen und hat einen Ablaßhahn für die Flüssigkeitsfüllung; oben ist es durch einen abschraubbaren Deckel mit Gummidichtung verschlossen und hat eine Verschlußschraube zur Füllung. Hier mündet auch das Rohr zur Zuführung des einen Druckes ein. Seine Höhe beträgt etwa 200 mm insgesamt. Die Höhe ist absichtlich so hoch gewählt, um eine einwandfreie Eichung zu ermöglichen, wozu sie notwendig ist; der dadurch entstehende tote Raum könnte, wenn er störend wirkt, so ausgeschaltet werden, daß man das Manometer so weit füllt, daß der Nullpunkt (Druckdifferenz 0) an das obere Ende der Skala gelegt wird. Es ist auch beabsichtigt, diesen Raum durch einen geeignet ge-

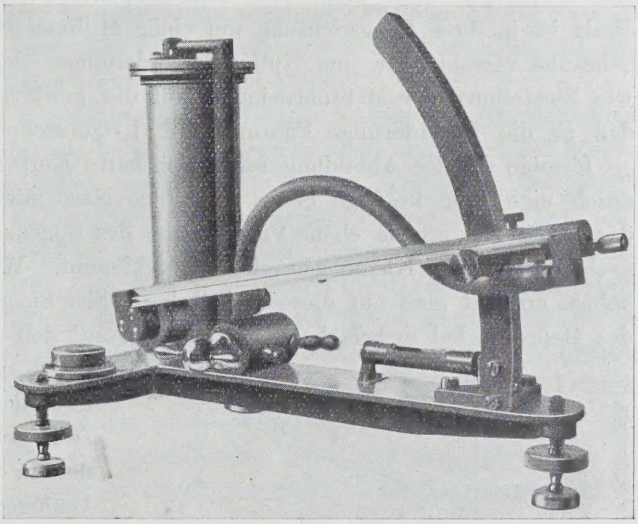


Fig. 1.

formten Aluminiumklotz, der am Deckel des Zylinders befestigt ist, auszufüllen. Seitlich an dem Zylinder sind zwei Stutzen angebracht. Der eine läßt mittels Feingewinde einen Stift von etwa 10 mm Durchmesser mehr oder weniger tief in das Innere hineinschieben, um den Flüssigkeitsstand im Innern ein wenig abändern zu können, zur Einstellung des Nullpunktes der Skala. Der zweite ist konisch ausgeschliffen, und in ihm läuft leicht drehbar und durch eine Überwurfmutter festgehalten ein Konus mit den notwendigen Bohrungen für den Durchgang der Flüssigkeit zu dem schwenkbaren Skalenrohr. An diesen Konus ist nun gleichzeitig der Halter für die Kapillare angearbeitet. Dieser Halter, der jenen Konus mit dem Führungsstück an der bogenförmigen Führungsleiste verbindet, besteht aus einem L-förmigen Lineal, das in dieser Form gewählt ist, um Biegungen möglichst zu vermeiden. An der Unterseite dieses Winkels liegt die eigentliche Ableseskala, die nach vorn hervorragt, so daß der Querschnitt des Stückes die Form L hat. In dem Winkel ruht die Kapillare. Die Ableseskala hat eine nutzbare Länge von 300 mm und ist in 200 Teile geteilt, mit Bezifferung von 1 bis 100. Man kann also schätzungsweise noch 0,05 Skalenteile ablesen. Die Skala ist in ihrer Längsrichtung um einige Millimeter durch die ganz rechts sichtbare Schraube verschiebbar, um Nullpunktsänderungen der Flüssigkeit folgen zu können. Die Einstellung der Meßrohrneigung auf die gewünschte Lage erfolgt in der Weise, daß in die bogenförmige Führung mit L-Querschnitt an den betreffenden Stellen ∠-förmige (in der Abbildung nicht sichtbare) Kerben eingearbeitet sind, in die eine durch eine sehr kräftige Feder gehaltene Nase mit gleicher Form sich einlegt, und das Stück fest an die ebene Vorderfläche des Bogens anpreßt. Danach wird die Nase noch durch eine Klemmschraube festgeklemmt. Wie besondere Versuche ergeben haben, erreicht man auf diese Weise eine völlige Sicherheit gegen unregelmäßige Lagen des Meßrohrs bei mehrfachen Einstellungen auf den gleichen Punkt. Das obere Ende der Kapillare ist durch einen Schlauch mit dem Haupthahn verbunden, der zwei Schlauchtüllen trägt zum Anschluß der zu messenden Druckdifferenz. Beim Umlegen des Handgriffs des Hahnes werden die beiden Manometerschenkel mit der freien Luft verbunden zur Einstellung des Nullpunkts. Die Theorie des Instruments und das Eichverfahren ist ja bekannt, so daß es hier nur in Kürze wiederholt sei. (S. Fig. 2.)

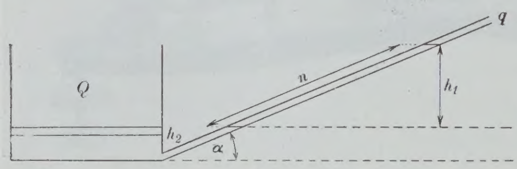


Fig. 2.

Es ist

$$h = h_1 + h_2, \qquad n q = Q h_2, \qquad h_1 = n \sin \alpha, \qquad h_2 = n \frac{q}{Q}.$$

Hierin sind q und Q die Querschnitte der beiden Schenkel

$$h = n\left(\sin a + \frac{q}{Q}\right).$$

Zum Zweck der Eichung wird eine Flüssigkeitsmenge V_0 hinzugefügt und damit ein Anstieg n_0 bewirkt.

$$V_0 = Q h_0 + q n_0,$$
$$h_0 = n_0 \sin \alpha,$$
$$V_0 = Q n_0 \sin \alpha + q n_0,$$
$$\frac{V_0}{Q} = n_0\left(\sin \alpha + \frac{q}{Q}\right) = n_0 \frac{h}{n},$$

$$h = n \frac{V_0}{Q n_0},$$

$$p = n \frac{G}{Q n_0},$$

$$p_0 = \frac{G_0}{Q}.$$

Hier ist

G_0 das Gewicht der Flüssigkeitsmenge V_0,

p_0 der Druck, welcher der Endstellung n_0 der Flüssigkeit an der Skala entspricht.

Als Flüssigkeit wurde Toluol, chemisch rein, gewählt, was sich sehr gut bewährt hat. Zwei verschiedene Proben Toluol, von Kahlbaum, Berlin-Adlershof, bezogen, hatten die praktisch übereinstimmende Dichte 0,86627 bei 20^0 C. Bei Neufüllung des Manometers mit Toluol sind also Korrektionen nur dann anzubringen, wenn das neue Toluol in der Dichte um mindestens $0{,}05\,^0/_0$ abweicht, d. h. um $4 \cdot 10^{-4}$ oder mehr.

Die Anwendung der kompensierten Skala, wie sie bei Geräten dieser Art viel gebräuchlich ist, verbietet sich hier, da mehrere Meßbereiche vorhanden sind. Da man bei der verlangten Genauigkeit doch nicht ohne Korrektionen arbeiten kann, ist das Vorhandensein einer Skalenkorrektion nicht sonderlich störend.

Es wurde nun zur Eichung folgendermaßen verfahren: Zunächst wurde rechnungsmäßig ermittelt, wo etwa im Bogenstück die Kerben sitzen müssen, und an diesen Stellen wurden sie eingearbeitet. Diese Stellen wurden nicht weiter verändert, und hierfür die Korrektion der Skala für Endablesung in der nachstehenden Weise ermittelt: Durch Zufüllen von Toluol in den weiten Schenkel wurde dieses im Meßschenkel etwa bis zum Endpunkt getrieben, beide Schenkel waren selbstverständlich offen. Dann wurde in einen gläsernen Kolben mit Glasstopfen so viel Toluol abgelassen, bis es etwa auf Null im Meßschenkel stand. Diese Stelle wurde genau abgelesen, der gefüllte Kolben gewogen, sein Inhalt schnell in den weiten Schenkel entleert, der entleerte Kolben wieder gewogen, und die endgültige Flüssigkeitsstellung wurde abgelesen. Auf diese Weise gelang es, unabhängig von Verdunstung und etwaigem Rückstand im Kolben, die eingefüllte Flüssigkeitsmenge streng zu wägen und die durch sie verursachte Standänderung genau festzustellen. So wurden mit erheblicher Sicherheit auf etwa 0,05 Skalenteile die Fehler des 100-Strichs in Wassersäule ermittelt.

Sodann wurden die Fehler des Meßschenkels infolge seiner Krümmung ermittelt. Das obige Verfahren ist dabei zu umständlich. Infolgedessen wurde so vorgegangen: Es wurde eine kleine Pipette geeigneter Größe hergestellt, deren Raum so bemessen war, daß eine Füllung von ihr beim Einfließen in den weiten Schenkel den Flüssigkeitsstand gerade um 0,2 der gesamten Skalenlänge änderte. Durch fünf Füllungen wurde also von der Stellung 0 ausgehend die Stellung 100 erreicht. So konnten die Fehler der Zwischenpunkte 20, 40, 60 und 80 ermittelt werden, was ausreichend war. Berechnet wurden diese Fehler unter der Annahme der Richtigkeit des 100-Strichs, also in genau der gleichen Weise, wie es bei Prüfung eines Maßstabes üblich ist. Es ist selbstverständlich, daß diese Prüfung bei kleinstem Meßbereich am empfindlichsten ist. Sie wurde daher allein bei ihm ausgeführt, und aus diesen Ergebnissen wurden diese Fehler für die anderen Meßbereiche rechnerisch abgeleitet. Es kann das ganz leicht auf Grund folgender Überlegung vorgenommen werden.

Bedeutet x den Abstand der Kapillare von der geraden Linie, f bzw. f_1 die Fehler an der untersuchten Stelle bei den Meßbereichen h bzw. h_1, n die Skalenlänge, so gilt nach Fig. 3

$$x = f \cdot \frac{h}{\sqrt{n^2 - h^2}},$$

$$f_1 = x \cdot \frac{\sqrt{n^2 - h_1^2}}{h_1} = f \cdot \frac{h}{h_1} \sqrt{\frac{n^2 - h_1^2}{n^2 - h^2}}.$$

Da ja die Krümmungsfehler der Kapillare mit wachsendem h_1 immer weniger ins Gewicht fallen, so genügt es fast immer, wenn die Kapillare ausreichend gerade ist, was ja durch die Fehlerbestimmung beim kleinsten Meßbereich erwiesen wird, statt dieses Ausdrucks den einfacheren

$$f_1 = f \cdot \frac{h}{h_1}$$

zu setzen, da die Wurzel praktisch sich, wie eine einfache Rechnung zeigt, nicht weiter von dem Zahlenwert 1 entfernt, als die erforderliche Genauigkeit es noch gestattet. Hat man also bei dem Meßbereich h die Krümmungsfehler der Kapillare ermittelt, so erhält man diese bei einem Meßbereich h_1, indem man jene Fehler mit dem Verhältnis $\frac{h}{h_1}$ multipliziert. Im vorliegenden Fall sind sie also, bei ursprünglicher Ermittlung im Meßbereich bis 10 mm, in den Meßbereichen 20, 50, 100 und 150 mm das 0,5-, 0,2-, 0,1- und 0,0667-fache des ursprünglichen. Voraussetzung dabei ist natürlich, daß beim Drehen der Kapillare keine Verbiegung eintritt, was bei der vorliegenden Konstruktion erfüllt ist. So ist es mit ganz leichter Mühe und geringer Rechnung möglich, für jeden Strich der Skala in jedem Meßbereich tafelmäßig den Fehler zu bestimmen. Eine Mitteilung der Ergebnisse an dieser Stelle ist zwecklos, da es sich naturgemäß um rein individuelle Fehler des betreffenden Instruments handelt, die weiter kein Interesse bieten. Und da auch von vornherein feststand, daß es unvermeidlich ist, stets mit Korrektionen an allen Lesungen zu arbeiten, wurde auch keine besonders hohe Sorgfalt darauf verwendet, was sehr zeitraubend gewesen wäre, die Fehler möglichst klein zu halten. Es mag genügen mitzuteilen, daß sie die übliche Größe haben, wie sie bei Geräten dieses Typus bekannt sind.

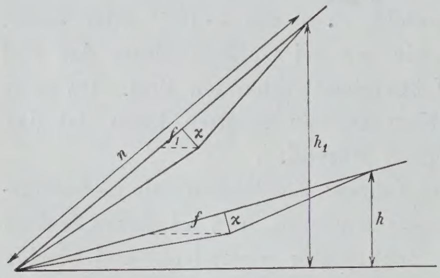


Fig. 3.

Zur Ausrichtung des Instruments auf feste eindeutige Stellung sind zwei Libellen angebracht. Eine Dosenlibelle mittlerer Empfindlichkeit und eine Röhrenlibelle in Richtung des Meßschenkels, ohne Korrektionseinrichtung, mit einer solchen Empfindlichkeit, daß etwa zwei Skalenteile der Libelle $^1/_{10}$ Skalenteil der Skala entsprechen; es genügt also eine ziemlich rohe Einstellung der Libelle, um eine völlig genügende Ablesesicherheit zu erhalten.

Die Tätigkeit der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt im Jahre 1924.

(Schluß von S. 203.)

Unterabteilung IIIb.

Im Jahre 1924 wurden folgende Gegenstände geprüft: *109. Übersicht über die Prüfungen*[1]).

I. Ausdehnungsthermometer.

1389 (1562) feine Thermometer mit Korrektionsangaben in 0,01°, geprüft in Temperaturen bis 100°, hiervon 283 (306) Kalorimeterthermometer,
1647 (3909) Thermometer mit Korrektionsangaben in 0,1°, geprüft in Temperaturen bis 100°,
31 (74) Siedethermometer für Höhenmessungen,
198 (283) Beckmannsche Thermometer,
148 (94) Tiefseethermometer,
2818 (4110) hochgradige Thermometer, z. T. geprüft in Temperaturen bis 700°,
73 (267) tiefgradige Thermometer, darunter 34 (132) Pentanthermometer für Temperaturen bis —190°.

zusammen 6304 (10299) Thermometer.

Ferner:
314958 (407576) Fieberthermometer.

II. Elektrische und optische Thermometer.

14 (4) Widerstandsthermometer,
1 (0) Meßeinrichtung für Widerstandsthermometer,
242 (107) Thermoelemente, darunter 169 (87) aus Platin-Platin-Rhodium, 34 (8) Konstantan-Silber, 1 (7) Konstantan-Kupfer, 21 (3) Konstantan-Eisen, 13 (1) Nickel-Chromnickel, 4 (0) Konstantan-Manganin,
29 (4) Millivoltmeter für thermoelektrische Zwecke,
3 (0) Proben Nickeldraht } Bestimmung des
9 (0) Proben Eisen } Temperaturkoeffizienten,
6 (6) Wannersche Pyrometer, davon 5 (3) mit je 2 und 1 mit 4 Meßbereichen,
37 (43) Pyrometerlampen, davon 27 (36) Metallfaden- und 10 (7) Kohlefadenlampen, } für das Holborn-Kurlbaumsche Pyrometer,
33 (9) Rauchgläser, }
2 (0) Spektralphotometer nach König-Martens für optisch-pyrometrische Zwecke mit 1 Rauchglas und 1 Reflexionsprisma,
1 (0) Glühfadenpyrometer besonderer Konstruktion,
1 (0) Glühfadenpyrometer nach Holborn-Kurlbaum mit 2 Lampen, Rot- und Grünfilter und 1 Rauchglas,
2 (0) Filter, 1 rotes und 1 grünes,

zusammen 380 (173) Apparate.

III. Instrumente für Druckmessung.

8 (77) Quecksilberbarometer,
41 (13) Aneroidbarometer,
28 (31) Manometer für verschiedene Meßbereiche, darunter 3 (4) bis 1000 kg/cm², 1 Quecksilbermanometer und 1 Quecksilbervakuummeter,
126 (48) Tiefseethermometer mit geschlossenem Rohr auf Drucke bis zu 900 kg/cm²,

zusammen 203 (169) Druckmeßinstrumente.

[1]) Scheel, Grützmacher, Jakob, Hoffmann, Moeller, Ebert, Blankenstein, Erk.

IV. Apparate zur Untersuchung des Erdöls.

42	(103)	Petroleumprober,
12	(21)	Flammpunktprüfer,
243	(258)	Zähigkeitsmesser, darunter 157 (119) nach Ubbelohde, 10 (12) für höhere Temperaturen, 25 (14) mit Zehntelgefäß, sowie 2 (2) vierfache und 1 (2) zweifache,
1	(15)	Siedeapparat für Mineralöle,
zusammen 298	(397)	Apparate für Erdöle.

V. Sonstiges.

1	(0)	Thermograph,
9	(11)	Proben auf spezifische Wärme,
25	(12)	Verbrennungskalorimeter (Bestimmung des Wasserwertes auf elektrischem Wege),
9	(3)	Gaskocher,
19	(12)	Stoffe auf Ausdehnung, davon 18 keramische Massen und 1 Glassorte,
1	(0)	Schmelzpunktuntersuchung an Ferrovanadin,
9	(18)	Keramische Massen auf Wärmeleitfähigkeit,
6	(0)	Isolierflaschen auf Wärmedurchlässigkeit,
2	(0)	Glassorten auf thermometrische Eignung,
1	(0)	Abschmelzen eines Thermometers unter Druck,
11	(2)	Posten = 371 (79) Legierungsringe für Schwartzkopffsche Dampfkessel-Sicherheitsapparate,
11	(2)	Messungen der Zähigkeit und des spezifischen Gewichts von Ölen,
zusammen 104	(60)	Gegenstände.

Die Prüfungsgebühren beliefen sich auf 79 277 Mark, wovon der vierte Teil auf die Fieberthermometer entfällt. Die Prüfungen von nichtärztlichen Thermometern haben gegenüber dem Vorjahre, in welchem sie unter der Wirkung der Inflation stark angestiegen waren, um etwa 40 Proz. nachgelassen. Immerhin entsprechen die Eingänge noch etwa dem Umfang der Prüfungen in den drei Vorkriegsjahren 1911 bis 1913, und nach der Zunahme der Anträge in den letzten Wochen ist sogar ein erhebliches Anwachsen der Prüftätigkeit für das kommende Jahr zu erwarten.

110. Quecksilberthermometer. a) Allgemeines.

Von den 6204 (10299) nichtärztlichen Thermometern entsprachen 491 (1313) nicht den Prüfungsvorschriften, 28 (47) gingen beschädigt ein, 58 (106) — einschließlich 28 (64) Stück freiwillig gesprungener Instrumente — wurden bei der Prüfung beschädigt; im ganzen mußten demnach 577 (1466) Thermometer, d. h. 9,3% (14%) aller eingereichten nichtärztlichen Thermometer als unzulässig zurückgewiesen werden.

b) Arbeitsnormale[1].

Die im Vorjahre wieder in Angriff genommene Kontrolle der Arbeits-Normalthermometer wurde fortgesetzt. Es wurden 7 Thermometer von 0 bis 100° durch Gradwertbestimmungen und Kalibrierung kontrolliert; die ermittelten Abweichungen lagen innerhalb der Beobachtungsfehler, so daß eine Änderung der Tabellen nicht nötig wurde. Für Temperaturen von 0 bis —100° wurden 3 Normale fertiggestellt und in Gebrauch genommen. Auch die Normale zur Prüfung von Fieberthermometern sind zahlreichen Kontrollprüfungen unterzogen worden.

Zur Erleichterung der Prüfungen in höheren und hohen Temperaturen wurden entsprechend dem kleinen massiven Aluminiumkörper für Satzthermometer noch zwei große Thermostaten für längere Thermometer, bestehend aus Aluminium- und Nickelzylindern mit tiefen Bohrlöchern und elektrischer Außenheizung, gebaut und in Gebrauch genommen.

c) Fieberthermometer[1].

Der Eingang von Fieberthermometern war während des größten Teiles des Jahres schwach und belebte sich erst gegen Ende. Die noch vorhandenen Laborantinnen prüfen täglich 1000 bis 1100 Fieberthermometer.

---

[1]) Grützmacher, Moeller. [2]) Scheel, Ebert.

Das abgeänderte Gesetz über die Prüfung und Beglaubigung der Fieberthermometer ist am 17. September 1924 mit wesentlichen Änderungen in Kraft getreten. U. a. ist darin der Anteil der von den Thüringischen und Anhaltischen Prüfämtern an die Reichsanstalt zu überweisenden Fieberthermometer entsprechend dem schon längere Zeit bestehenden tatsächlichen Zustande von 10 auf 5 vom Hundert herabgesetzt.

111. Thermometerprüfanstalten unter technischer Aufsicht der Reichsanstalt[1]).

Beim Staatsprüfamt in Ilmenau, welches jetzt den Namen Thüringisches Landesamt für Maß und Gewicht führt und in welches auch das bisher selbständige Gehlberger Amt eingegliedert ist, wurden zur Prüfung eingereicht: 1208 (1231) [davon zulässig 1043 (1076)] Laboratoriumsthermometer bis 100°; 1058 (1129) Laboratoriumsthermometer bis 550°; 675 (6882) meteorologische; 328 (918) gewerbliche Thermometer und 181 (759) Thermometer für den häuslichen Gebrauch; insgesamt 3450 (10919) Instrumente. Zur künstlichen Alterung wurden 1371 (1639) Thermometer eingereicht.

Die Tätigkeit des Thüringischen und des Anhaltischen Staatsprüfamtes in bezug auf die Prüfung von Fieberthermometern ist aus nachstehender Tabelle zu ersehen, in welcher auch die entsprechenden Zahlen für die Reichsanstalt aufgeführt sind.

		Phys.-Techn. Reichsanstalt	Thür. Landesamt für Maß und Gewicht		Anhaltisches Staatsprüfamt	Summe
			Ilmenau	Gehlberg		
Eingelieferte Fieberthermometer	gewöhnliche . . .	—	5407	5518	—	10925
	Maximum	16727	331274	292182	987	641170
	Minuten-Max. . .	298231	1994030	860729	667395	3820385
	Einschlußtherm.	196680	1600463	847529	654002	3298674
	Stabthermom. .	118278	730248	310900	14380	1173806
Insgesamt		314958	2330711	1158429	668382	4472480
davon zulässig	mit Stempel .	293429	2054868	1045835	638265	4032397
	ohne „ .	2380	143661	58958	—	204999
davon unzulässig (Prozent) . . .		6,1	5,7	4,6	4,5	5,2

112. Hochvakuummessungen[2]).

Es sind fünf Modelle von Hochvakuumpumpen, je eine Stahlpumpe von Osram, Berlin, und Pfeiffer, Wetzlar, und drei Quarzlampen der Firma Kießling & Co,, Langewiesen, auf ihre Sauggeschwindigkeit geprüft. Im allgemeinen sind auch diese Instrumente den früher untersuchten gleichwertig. Insbesondere zeichnen sich die letztgenannten trotz ihrer kleinen handlichen Form durch eine verhältnismäßig gute Sauggeschwindigkeit aus.

113. Spezifisches Gewicht des Quecksilbers[3]).

Die Versuche sind beendigt. Für das zur Füllung der Ohmrohre verwendete Quecksilber wurde das spezifische Gewicht bei 0° zu 13,59540, für eine andere Probe zu 13,59558 gefunden. Die Differenz beider Werte liegt außerhalb der Messungsfehler. Ein in Verbindung mit allen vorliegenden einwandfreien Beobachtungen abgeleiteter Mittelwert 13,59546 genügt allen zurzeit möglichen Ansprüchen an Genauigkeit. Als Nebenresultat der bei 20° und 30° ausgeführten Messungen ergibt sich eine Bestätigung der früher in der Reichsanstalt beobachteten Ausdehnung des Wassers und des Quecksilbers. Die Arbeit ist veröffentlicht (Anh. 1, Nr. 72).

114. Temperaturkoeffizient des elektrischen Widerstandes[4]).

In der Technik zur Herstellung von Widerstandsthermometern verwendete unreine Nickeldrähte zeigen für das Verhältnis R_{100}/R_0 des Widerstandes bei 100° und bei 0° verschiedene Werte zwischen 1,518 und 1,542. Ein näheres Eingehen auf die Gründe dieses Verhaltens ergab, daß die Umwandlungstemperatur des Nickels bei 350° für die Erscheinung keine Rolle spielt, daß vielmehr die Größe des Quotienten nur von der jeweiligen Vorbehandlung des Materials abhängt. Je nachdem der Nickeldraht nach Erhitzen auf eine Temperatur von 300 bis 500° plötzlich abgekühlt oder sehr langsam getempert wurde, wurden kleinere oder größere Werte des Quotienten gefunden. Ganz reines Nickel mit dem Quotienten $R_{100}/R_0 = 1,6657$ zeigt dies unterschiedliche Verhalten nicht;

---

[1]) Scheel. [2]) Ebert.
[3]) Scheel, Blankenstein. [4]) Scheel, Ebert.

bei der Herstellung von Widerstandsthermometern sollte also auf die Reinheit des Nickeldrahtes besonders geachtet werden.

Längere Zeit nahm eine auf Antrag ausgeführte Untersuchung von neun Eisenproben in Anspruch, die verschiedenen Stellen eines im Fabrikbetriebe benutzten und dabei verunreinigten Kesselbleches entnommen waren. Für die Messungen wurden aus den Proben 160 mm lange Stäbchen von rechteckigem Querschnitt ($1{,}5 \times 1{,}5$ mm) herausgeschnitten oder, wo das Material zum Schneiden zu brüchig war, herausgeschliffen. Die Stäbchen wurden dann nach Art der Spulen von Widerstandsthermometern luftdicht in Porzellanrohre eingesetzt. Für die verschiedenen Proben, deren spezifischer Widerstand nach den Messungen der Abteilung II zwischen 1,04 und $0{,}64 \cdot 10^{-4}$ Ohm/cm lag, wurden Widerstandsverhältnisse R_{100}/R_0 zwischen 1,130 und 1,098 gefunden. Die Beobachtungen wurden teilweise bis 800° ausgedehnt.

115. Thermoelemente[1]. Unter den in der Übersicht aufgeführten Platin-Platinrhodium-Thermoelementen sind auf Wunsch des Antragstellers zwei Stück beim Goldschmelzpunkt und ein Stück an vier Fixpunkten fundamental bestimmt worden. Ein weiteres, das zur wissenschaftlichen Untersuchung in einer Hochschule dienen sollte, ist ebenfalls eingehender geprüft worden.

Für den Gebrauch der Abteilung sind die Hauptnormale XVII bis XX und fünf weitere Thermoelemente eingehend untersucht und zum großen Teil an 4 bis 5 Fixpunkten fundamental bestimmt.

116. Pyrometerlampen[1]. Als Ersatz für die bisher benutzten Normallampen, welche Unstimmigkeiten gezeigt hatten, wurden besonders sorgfältig gearbeitete Metallfadenlampen bis zu hohen Temperaturen gealtert und in langen Meßreihen untersucht. Sie haben sich als dauerhaft und konstant erwiesen; die untenstehende Tabelle gibt als Beispiel die Stromstärken beliebig herausgegriffener Lampen bei 1000 und 1200° vor (a) und nach (b) einer 21 stündigen Erhitzung mit einer Stromstärke, die einer schwarzen Temperatur von 1800° entspricht,

Tabelle.

	Datum	Nummer der Lampe		
		2	8	11
1000°	a) 6. 10. 24	0,2704	0,2720	0,2625
	b) 24. 10. 24	0,2702	0,2718	0,2624
1200°	a) 3. 10. 24	0,3002	0,3021	0,2927
	b) 22. 10. 24	0,2998	0,3016	0,2926

Der für diese Untersuchungen verwendete schwarze Körper wurde neu beschafft; sein Thermoelement ist vor und nach dem Einbau fundamental an Fixpunkten bestimmt worden.

Für künftige Prüfungen steht eine in der Anstalt untersuchte Bandlampe zur Verfügung, deren Stromstärken mit den neuen Normallampen von 100 zu 100° kontrolliert wurden. Zu diesen Versuchen wurde das bisher verwandte Holborn-Kurlbaumsche Pyrometer mit einer Objektivlinse kleinerer Brennweite versehen. Die Prüfung von Pyrometerlampen kann nach vorübergehender Beschränkung des Temperaturbereiches nunmehr wieder bis 1600° ausgeführt werden.

117. Gesamthelligkeit des schwarzen Körpers[2]. Die Messungen der Gesamthelligkeit des schwarzen Körpers bei der Temperatur des Platin- und Palladiumschmelzpunktes wurden fortgesetzt. Für die Untersuchungen beim Platinschmelzpunkt kam nur der Iridiumofen zur Verwendung. Unter den benutzten Hohlraumformen erschien am geeignetsten ein sehr kleiner Hohlraum von nur 6,5 mm Öffnung und 10,5 mm Tiefe, der mit einem Ansatzrohr so über die Spitze des Halteelementes geschoben wurde, daß er innerhalb eines größeren, an sich schon sehr gleichmäßig temperierten Hohlraumes von etwa 17 mm lichter Weite und 60 mm Tiefe schwebte. Die Hinterwand des kleinen Hohlraumes, hinter der die Lötstelle des Halteelementes liegt, wird, durch eine Linse vergrößert, auf dem Photometerschirm abgebildet. Die Temperaturverteilung war hier so gleichmäßig, daß Unterschiede in der Helligkeit der aus dem Innern des kleinen Hohlraumes und der von seiner Außenseite kommenden Strahlung nicht fest-

[1] Scheel, Ebert. [2] Brodhun, Hoffmann.

gestellt werden konnten. Eine längere Versuchsreihe mit diesem Hohlraum wurde dadurch verhindert, daß das Iridiumrohr schadhaft wurde. Der Ofen wird wieder hergestellt.

Bei den Messungen im Iridiumofen wurde als Halteelement das Thermoelement L aus IrRh/Ir benutzt, dessen Temperaturgradient nur 1,5 μV/Grad beträgt. Es zeigte sich später, daß durch geeignete Zusammensetzung eines Schenkels der älteren IrRu- mit einem Schenkel der neuen IrRh-Elemente ein Element gebildet werden kann, dessen Thermokraft den hohen Gradient von nahezu 5 μV/Grad, also etwa die Hälfte des Le Chatelierschen Thermoelementes hat. Das Element war bereits zu einigen Beobachtungen im Iridiumofen benutzt worden, als die Versuche abgebrochen werden mußten.

Besondere Aufmerksamkeit wurde der Frage zugewandt, in welchem Maße der Iridiumdampf auf den Platinschmelzpunkt schädlich einwirken kann. Daß tatsächlich eine Verunreinigung des Platins durch Iridium stattfindet, steht fest, da sehr dünne Drähte (unter 0,3 mm) bei sehr viel höheren Temperaturen durchschmelzen als dicke, und reiner Platindraht nach längerer Glühdauer in der Nähe des Schmelzpunktes eine starke Thermokraft gegen ungeglühten Platindraht annimmt. In Übereinstimmung mit den früheren Schmelzpunktsbestimmungen scheint sich jedoch zu bestätigen, daß bei der benutzten Methode, wo der Schmelzbeginn durch die Wärmetönung festgelegt wird, ein Einfluß auf den wirksamen Kern des Drahtes nicht vorhanden ist.

Eine große Anzahl von Messungen wurde bei der Temperatur des Palladiumschmelzpunktes ausgeführt. Hierzu dienten drei Öfen: der Iridiumofen der Reichsanstalt, ein von Herrn Nernst zur Verfügung gestellter Platiniridiumofen und ein Platinofen nach Lummer-Kurlbaum. Obwohl der letztere infolge der starken Verdampfung des Platinmantels bei der erforderlichen hohen Temperatur nur eine kurze Lebensdauer hat, konnte auf seine Benutzung nicht verzichtet werden, weil ein Vergleichsofen erwünscht war, bei dem die Iridiumdämpfe die Konstanz der Thermoelemente nicht beeinflussen. Bei einer Reihe von 14 unabhängigen Helligkeitsbestimmungen (Bestimmung des Palladiumschmelzpunktes mit anschließender photometrischer Messung) am Iridiumofen unter Benutzung des oben beschriebenen kleinen Hohlraumes betrug die größte Abweichung vom Mittelwert $\pm 1\,^0/_0$, der mittlere Fehler einer Bestimmung $\pm 0{,}6\,^0/_0$.

118. Abhängigkeit der Stromstärke von Pyrometerlampen von der Temperatur[1].

Beobachtungen an vielen Glühlampen verschiedenster Art zeigten, daß die Abhängigkeit der Stromstärke i von der anvisierten absoluten Temperatur T am einfachsten im logarithmischen Koordinatensystem dargestellt wird. Die Kurven nähern sich durchweg nach einer anfänglich starken Krümmung in höheren Temperaturen asymptotisch einer Geraden, so daß die von Pirani und Meyer (1911) angegebene lineare Beziehung erst kurz vor der zulässigen oberen Gebrauchsgrenze der Lampen zu gelten beginnt. Für die analytische Darstellung bewährte sich eine Exponentialfunktion von der Form

$$y = a + bx + Ae^{-\alpha x}$$

und gleich gut die rechnerisch bequemere Hyperbel

$$(y + \beta)^2 = c\,(x + \alpha)^2 - b^2,$$

wo $x = \log T$ und $y = \log i$ zu setzen ist.

Bemerkenswert ist, daß die Formeln ebenso gut für Spiralfadenlampen gelten, wenn die Messung an einer Windung in der Mitte zwischen zwei Haltern zugrunde gelegt wurde, wie an den Pyrometerlampen mit einfachen bügelförmigen Kohle- und Metallfäden.

119. Vollständige Theorie des Wanner-Pyrometers[1].

Zwei zur Prüfung eingereichte Spektralphotometer nach König-Martens waren nach Art des Wannerschen Pyrometers mit einer am Kollimatorrohr fest montierten Vergleichslampe versehen, deren Licht die eine Spalthälfte beleuchtete, während auf die andere von einer festen Linse das Bild des anvisierten Objektes geworfen wird. Die Instrumente konnten in üblicher Weise zur Kontrolle der Helligkeit der Vergleichslampe auf eine von einer Amylacetatlampe oder einer Glühlampe beleuchteten Mattscheibe gerichtet werden. Gefordert wurde bei dem einen die Auswertung der Winkeleinstellungen in Temperaturen im gesamten Spektralbereich, bei dem anderen die Angabe der Helligkeit der Mattscheibe im gesamten Spektralbereich bezogen auf die des schwarzen Körpers

---

[1]) Hoffmann.

von gegebener Temperatur, so daß die gemessenen Helligkeiten eines anvisierten Objektes durch Vergleich mit der der Mattscheibe ebenfalls auf die des schwarzen Körpers bezogen werden können. Die Theorie führt mit Hilfe des Begriffes der Farbtemperatur zu übersichtlichen Formeln, die veröffentlicht werden sollen.

Abteilung IV.

Unterabteilung IVa.

120. Astatisches Nadelgalvanometer[1]. Mit dem ersten Modell des Galvanometers, das Herr Nernst in der Reichsanstalt hatte bauen lassen (s. vorjährigen Tätigkeitsbericht), sollte geprüft werden, ob seine Empfindlichkeit für sehr genaue Strahlungsmessungen ausreichend wäre. Es hat gegenüber dem Panzergalvanometer die großen Vorzüge der Unabhängigkeit des Nullpunktes von der Temperatur, sowie der genauen Proportionalität zwischen Ausschlag und Stromstärke. Mit einem Skalenabstand von 9,8 m erreichte man, daß 1 mm Skalenausschlag durch einen Strom von $5{,}7 \times 10^{-10}$ A erzeugt wurde, während im Potsdamer Laboratorium mit dem leichten Magnetgehänge von etwa 40 mg im Panzergalvanometer die Empfindlichkeit $0{,}79 \times 10^{-10}$ A benutzt werden konnte. Das einfache Nadelsystem ließ sich zwar ohne große Schwierigkeit so weit astasieren, daß der Einfluß elektrischer Erdstörungen höchstens $\pm$ 0,05 mm Ausschlag betragen konnte, dagegen ist es bisher nicht gelungen, trotz Juliusscher Aufhängung den Einfluß der mechanischen Erschütterungen hinreichend zu beseitigen; je nach der Unruhe im Gebäude blieb ein Wandern der Nadel um $\pm$ 0,6 bis 2,4 mm übrig.

121. Quarzspektrograph[2]. Auf Anregung des Herrn W. Wien sind die Abbildungsfehler in Quarzspektrographen genauer untersucht worden, um den Grund dafür aufzufinden, daß in manchen Instrumenten jede Spektrallinie in 2 bis 4 Linien zerlegt wird, selbst wenn das Licht der betreffenden Linie das Cornu-Prisma (Fig. 13, optische Achse des Quarzes parallel *AB*) in der Minimumstellung durchsetzt. Die Aufgabe konnte eingehend bearbeitet werden, da außer dem Quarzspektrographen und dem tadellosen 62°-Quarzprisma 1913a der Reichsanstalt durch das Entgegenkommen der Firma Halle Nachf. (Berlin-Steglitz) noch vier 60°-Cornu-Prismen und vier sehr große 30°-Quarzprismen für Autokollimation zur Verfügung standen. Mit ihnen ist unter Zugrundelegung der Cauchy- v. Langschen Theorie die Wellenfläche des Quarzes, sowie Lage und Achsenverhältnis der Schwingungsellipsen nahe der Achse bis zu $\varrho = 7{,}3^0$ zwischen Wellennormale und optischer Achse studiert worden.

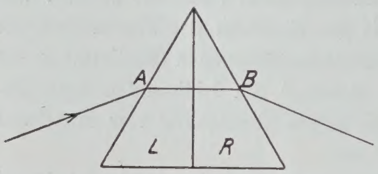


Fig. 13.

Die für $\varrho = 0$ (Minimumstellung) einfache Linie teilt sich mit zunehmendem ϱ in zwei Linien, und außerdem entstehen symmetrisch zu diesen gelegen durch Zerlegung der Strahlen beim Übergang vom Links- zum Rechtsquarz noch zwei Nebenlinien, deren Helligkeit mit ϱ schnell zunimmt, während sich die der Mittellinien entsprechend verringert und der Null nähert, sobald bei großem ϱ die Schwingungsellipsen eine sehr gestreckte Form annehmen. Hiernach werden mit zunehmendem Abstande von der ins Minimum gestellten und daher einfachen Cd-Linie 0,2573 μ die anderen Spektrallinien zwar stärker zerlegt, aber doch nur in einem für gewöhnlich nicht wahrnehmbaren Maße. So beträgt z. B. für die Al-Linie 0,1990 μ der Abstand der Mittellinien erst 1,5″ (dem entspricht nur 0,0081 mm Abstand auf der geneigten photographischen Platte bei 600 mm Brennweite des Kamera-Objektivs) und derjenige der beiden Nebenlinien je 62,4″, ihre Helligkeit indessen nur je 0,011 % derjenigen der gemeinsamen Mittellinie; für die grüne Hg-Linie 0,5461 μ Abstand der Mittellinien 0,3″, der Nebenlinien nur je 12,1″, ihre Helligkeit je 0,088 %. Das ganze Spektrum wird daher nur einfache Spektrallinien aufweisen, wie dies auch bei dem des Quecksilbers im Spektrographen der Reichsanstalt der Fall war. Ergeben sich dagegen helle Nebenlinien, so ist das Prisma entweder im Apparat unrichtig justiert oder zur optischen Achse höchst fehlerhaft geschliffen oder aber von außerordentlicher Unreinheit mit nicht konstanter Achsenlage.

---

[1] Schönrock.
[2] Schönrock, Wetthauer.

Die oft geäußerte Meinung, die beiden Quarzobjektive müßten gleich dick und aus entgegengesetzt drehendem Quarz verfertigt sein, ist nicht zutreffend, denn die dadurch zu vermeidenden Abbildungsfehler sind klein gegen die durch das Prisma und die geometrische Gestalt der Objektive hervorgerufenen.

Weniger günstig stellen sich die Verhältnisse beim Straubelschen Quarzprisma mit fester Ablenkung von nahezu 90° (Fig. 14, optische Achse des dreiseitigen Quarzprismas parallel *CD*, die des vierseitigen senkrecht zur Zeichenebene), welches gewöhnlich für die einzelnen Spektrallinien in die entsprechenden Minimumstellungen gedreht wird, wenn man mit ihm ein längeres Spektrum photographieren würde. Zeigt seine Mitte einfache Linien, so wird sich nach den Seiten hin sehr bald eine deutliche Verdoppelung der Linien bemerkbar machen. In diesem Falle wird ja der Unterschied der Brechungsverhältnisse senkrecht zur Achse wirksam, welcher sehr viel größer ist als derjenige der Brechungsverhältnisse in Richtung und Nähe der Achse.

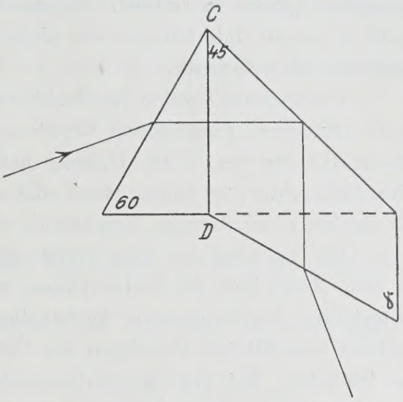


Fig. 14.

122. Wellenfläche des Quarzes[1].

Die vorher besprochene Aufgabe mit dem Cornu-Prisma erforderte auch die genaue Kenntnis der Differenz der Brechungsvermögen senkrecht zur Achse. Diese Differenz konnte mittels des Achsenfehlerapparats bis auf ± 4 Einheiten der 7. Dezimale genau bestimmt werden. Die Messungen lassen gleichzeitig einen Schluß zu auf die Form der Wellenfläche für Winkel ϱ von 25° bis 31°, wo sich die Zirkularpolarisation des Quarzes noch deutlich bemerkbar macht. Die Veröffentlichung dieser Ergebnisse steht bevor.

123. Achsenfehlerapparat[1].

Der vorhandene Achsenfehlerapparat ist speziell für den Zweck, in Saccharimeter-Quarzplatten die Lage der optischen Achse festzustellen, gebaut worden. Für die vorher erwähnten Untersuchungen war es aber ein Bedürfnis, auch in fertigen großen Prismen die Richtung der optischen Achse genau bestimmen zu können. Ein dafür geeigneter Apparat ist in der Reichsanstalt hergestellt worden.

124. Saccharimetrie[1].

Die Untersuchungen zur Aufklärung der Frage nach der Richtigkeit des Hundertpunktes der Saccharimeter können als abgeschlossen gelten. Die Prüfung der vom Institut für Zucker-Industrie (des Vereins der Deutschen Zucker-Industrie) gelieferten, sehr reinen Saccharoseproben in der Reichsanstalt hatte für das Drehvermögen des reinen Zuckers einen Wert ergeben, der mit dem Resultat des Bureau of Standards gut übereinstimmt. Hiernach wäre für wissenschaftliche Messungen der bisher international gültige Hundertpunkt um 0,13° Ventzke herunterzusetzen. In der Zuckerpraxis kommt es indessen in der Hauptsache nur auf die Rohzucker von 90 bis 97 Polarisation an, deren Lösungen vor der Polarisation stets erst mit Bleiessig oder ähnlichem geklärt und dann filtriert werden; in diesem Falle liefert aber die bisherige Skale die richtigeren Werte für den Zuckergehalt. Es dürfte daher kein Grund vorliegen, in der Praxis von dem allgemein gebräuchlichen Hundertpunkt (definiert durch die Quarzplatte, welche spektral gereinigtes Natriumlicht um 34,657 Kreisgrade bei 20° C dreht) abzugehen; nur hat man zu beachten, daß bei der Prüfung reiner Zucker, sogenannter Weißzucker, zu der beobachteten Polarisation (in der Nähe von 100 Graden V.) noch 0,13° V. hinzuzufügen ist, um den wahren Zuckergehalt zu bekommen.

125. Polarimetrische Prüfungen[1].

Während des Jahres 1924 wurden 15 (14) Saccharimeter-Quarzplatten zur Prüfung eingesandt. Hiervon war 1 Quarzplatte wegen nicht genügender optischer Reinheit für saccharimetrische Zwecke nicht geeignet.

Für in der Reichsanstalt zu benutzende Fabry-Perot-Etalons wurden von der Firma Zeiss (Jena) 12 Platten aus kristallinischem Quarz von 15 mm Dicke, 60 mm Durchmesser und 18 bis 91 Minuten Keilwinkel beschafft und auf optische Reinheit, Achsenlage, sowie vor allem auf Ebenheit der Flächen geprüft.

[1]) Schönrock.

Des weiteren wurde 1 (0) Halbschatten-Polarisationsapparat nach Lippich mit Kreisteilung auf seine Güte untersucht.

126. Normallinien I. Ordnung[1]. Die Untersuchung der Kadmiumlinien wurde fortgesetzt behufs Anschlusses des Meters an die Wellenlänge des Lichtes. Es wurden Spektralröhren verschiedener Formen hergestellt, um die Bedingungen einer hohen Lebensdauer der Cd-Lampe und einer großen Interferenzfähigkeit des ausgesandten Lichtes zu erzielen. Röhren mit Außenelektroden geben bei hohen Gangunterschieden nicht so scharfe Interferenzen wie diejenigen mit Innenelektroden, sofern man sich des Lichtes der positiven Säule bedient.

Des weiteren wurden Spektralröhren mit von der Gesellschaft für Lindes Eismaschinen A. G. (München) geschenktem Krypton und Xenon gefüllt, um möglicherweise diese Edelgase als Ersatz für das wegen der Heizung unbequeme Kadmium zu verwenden. Xenon besitzt im Blau eine Reihe stärkerer Linien; diese sind aber für den beabsichtigten Zweck insofern nicht geeignet, als sie fast sämtlich enge Doppellinien sind.

127. Feinstruktur der Balmerlinien[1]. Im Anschluß an eine Veröffentlichung von Shrum (G. M. Shrum, *Proc. Roy. Soc. A. 105, S. 259. 1924*) über die Balmerlinien wurden die von diesem erhaltenen Ergebnisse auf Grund des mitgeteilten hervorragenden Beobachtungsmaterials nachgeprüft. Es zeigte sich, daß die von Shrum ausgeführten Messungen des Dublettabstandes infolge mehrerer Fehlerquellen einer Korrektur bedürfen. Mit dem Koch-Goosschen Registrier-Photometer wurden in der Reichsanstalt die Schwärzungskurven der von Shrum veröffentlichten Platteninterferenzen aufgenommen und zur Berechnung der Dublettabstände benutzt. Es ergaben sich wesentlich kleinere Werte, als sie von Shrum angegeben wurden: $\varDelta\lambda = 0{,}130$ Å.-E. für H_α, 0,076 Å.-E. für H_β und 0,060 Å.-E. für H_γ; die entsprechenden $\varDelta\nu$ cm^{-1} Werte sind 0,302 bzw. 0,322 bzw. 0,318; Gehrcke und Lau hatten unter sehr ähnlichen Versuchsbedingungen für $\varDelta\nu$ die Werte 0,293 bzw. 0,301 bzw. 0,296 erhalten. Die Untersuchung ist abgeschlossen und erscheint demnächst.

128. Bestimmung der Konstanten σ[2]. Mit der im letzten Tätigkeitsbericht beschriebenen Methode sind unter Benutzung von platinierter Nickelfolie als Empfänger eine Anzahl Messungsreihen durchgeführt worden. Messungen mit Empfängern anderer Abmessungen aus elektrolytisch gewonnenem, gleichmäßig starkem Platin, dessen Herstellung nach längeren Versuchen gelang, sind noch im Gange. Die Weiterführung der Untersuchung, welche zeitraubende feinmechanische Arbeiten erfordert, wurde leider ebenso wie die Förderung der Arbeit über die Lichteinheit, für welche dankenswerterweise seitens der Osram-Gesellschaft inzwischen außer dem Vakuumofen auch die erforderlichen Heiztransformatoren gebaut wurden, durch den Mangel an Hilfskräften außerordentlich gehemmt.

129. Herstellung dünner Folien[2]. Das im Vorjahre entwickelte Verfahren ist mit Erfolg weiter ausgebaut worden. Es gelang aus Nickel und Gold Folien bis zu etwa $1 \cdot 10^{-6}$ cm Stärke zu gewinnen, später auch Eisen und Platin bis zu $4 \cdot 10^{-6}$ cm Dicke zu isolieren. Die Folien von $1 \cdot 10^{-6}$ cm Dicke erscheinen in der Durchsicht bereits glasklar, Nickel im reflektierten Licht auch in den dünnsten Schichten noch grau, Gold rötlich. Auch Schichten von $2 \cdot 10^{-6}$ cm Stärke zeigen noch hohe Durchlässigkeit und Homogenität, wie photographische Momentaufnahmen von $^1/_{50}$ sec und mikrophotographische Aufnahmen großer Apertur mit 400-facher Vergrößerung durch derartige Nickelfolien hindurch, sowie das Fehlen jeglicher ungleichmäßigen Aufhellung im polarisierten Licht erkennen ließen. Bemerkenswert ist die Durchlässigkeit der dünnen Nickelfolien für Kathodenstrahlen; solche von 4000 Volt erfahren selbst in relativ stärkeren Nickelfolien von $4 \cdot 10^{-6}$ cm Stärke nur 200 Volt Geschwindigkeitsverlust.

130. Entwurf eines registrierenden Spektralphotometers[2]. Spektrale Durchlässigkeitskurven absorbierender Substanzen hat man bisher aus spektralen Einzelmessungen konstruiert. Da dieser Weg indes erheblichen Zeitaufwand erfordert, ist im Hinblick auf die steigende Zahl derartiger Prüfungsanträge versucht worden, eine Registrierapparatur zur direkten Aufnahme von Absorptionskurven zu entwickeln. Das hierfür gewählte, auch zur Vergleichung von Emissionsspektren sowie irgendwelcher spektraler Effekte geeignet erscheinende Prinzip besteht darin, daß zugleich mit der durch die zu untersuchende Substanz veränderten spektralen Energiekurve Kurven verschiedener Teilintensitäten der ungeschwächten Strahlung gewissermaßen als Koordinaten erzeugt werden, indem während der Durchmusterung des Spektrums die spektrale

---

[1]) Janicki. [2]) C. Müller.

Strahlung periodisch der zu untersuchenden Substanz bzw. abgestuften, bekannten Sektorenschwächungen ausgesetzt wird. Mit einer provisorischen lichtelektrischen Registrierapparatur konnten auf diese Weise 4 Absorptionskurven gleichzeitig mit 5 Koordinatenlinien für 40 Wellenlängen in 30 Minuten aufgenommen werden.

131. Registrierphotometer[1]). Mittels des Koch-Goosschen Registrierkomparators wurden im Berichtsjahr 119 Photometrierungen ausgeführt. Der Mangel eines Zusatzapparats mit stärkerem Auflösungsvermögen machte sich vielfach hemmend bemerkbar.

132. Absorptionsmessungen für Gesamtstrahlung[1]). An 13 Glasproben wurde die Durchlässigkeit bezüglich der Gesamtstrahlung einer Nitralampe bestimmt.

Unterabteilung IV b.

133. Photometrische Prüfungen[2]). Im Jahre 1924 wurden photometrisch geprüft:

81 (39) Hefnerlampen;
10 (13) Kohlefadenlampen;
413 (271) Metallfadenlampen, davon 344 (255) als Normallampen für photometrische Zwecke;
21 (0) Lampen als photometrische Normallampen, bei mehreren (bis zu 9) Spannungen bestimmt;
28 (16) Lampen in Dauerprüfung mit insgesamt 29314 (4900) Brennstunden;

ferner 2 Reflektoren, 2 Beleuchtungseinrichtungen für ärztliche Zwecke, 1 Tubusphotometer sowie 6 Petroleumlampen für Eisenbahnsignallaternen.

Für Steuerbehörden sind im Berichtsjahre auf Grund des Leuchtmittelsteuergesetzes nur 12 (53) Metallfadenlampen geprüft worden.

Wie aus den mitgeteilten Zahlen hervorgeht, hat die photometrische Prüfungstätigkeit im Jahre 1924 gegen das Jahr 1923 nicht unerheblich zugenommen; die Inanspruchnahme des Laboratoriums war besonders stark im letzten Viertel des Berichtsjahres.

Wie im Tätigkeitsbericht für 1912 erwähnt (s. *Zeitschr. f. Instrkde.* ***33***, *S. 160. 1913*), hatten damals internationale Vergleichungen an Glühlampen-Normalen stattgefunden, die von dem National Physical Laboratory veranlaßt worden waren. Unter Benutzung des Umrechnungsfaktors 1 Candle Power = 1,11 HK ergab sich damals sowohl für die Farbe der Kohlefadenlampe wie für die der Metallfadenlampe mit Zickzackfäden sehr gute Übereinstimmung. Nach Mitteilung des genannten englischen Instituts stimmten diese Ergebnisse auch mit späteren des Bureau of Standards gut überein· Nach langer Pause konnten nun in diesem Jahre die internationalen Vergleichungen wieder aufgenommen werden durch Photometrierung von Lampen, die von seiten des Bureau of Standard- überbracht worden waren. Dabei ergab sich, soweit die nicht sehr zahlreichen Messungen einen sicheren Schluß zulassen, bei der Farbe der Kohlefadenlampe befriedigende Übereinstimmung, während sich bei der Farbe der Zickzack-Metallfadenlampe eine Differenz von etwa 2⁰/₀ ergab. Eine noch größere Differenz zeigte sich bei der Messung von Zickzack-Metallfadenlampen, die von russischer Seite überbracht und vorher im National Physical Laboratory ausgewertet waren.

Zur Aufklärung dieser Unstimmigkeit sind im photometrischen Laboratorium unter Verwendung möglichst zahlreicher photometrisch geübter Beobachter von neuem photometrische Messungen bei den gebräuchlichen Farbenunterschieden (Kohlefadenlampe, Metallfadenlampe, Spiraldrahtlampe) nach verschiedenen Methoden in Angriff genommen worden Wegen der bekannten, bei solchen Helligkeitsvergleichungen vorhandenen Schwierigkeiten, die einerseits in den individuellen Verschiedenheiten der Farbenempfindung, andererseits in den photometrischen Methoden liegen, werden sich die Unstimmigkeiten bei Normallampen verschiedener Färbung völlig nur durch internationale Vereinbarung beseitigen lassen.

134. Untersuchung von Fernrohren[3]). Die Untersuchungen von Fernrohren wurden fortgesetzt. Eine Zusammenstellung von Prüfungsergebnissen, sowie eine ausführliche Beschreibung der benutzten Untersuchungsmethode wurde veröffentlicht (Anh. 1, Nr. 96).

[1]) C. Müller. [2]) Brodhun, Liebenthal, Wetthauer, Dziobek.
[3]) Wetthauer.

135. Dioptrische und spektroskopische Prüfungen[1]. Die dioptrischen und spektroskopischen Prüfungen sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt:

Anzahl	Gegenstand	Art der Prüfung
8 (18)	Glasproben	Lichtbrechungsvermögen für Na-Licht.
3 (0)	Glasproben	Lichtbrechungsvermögen für verschiedene Wellenlängen.
21 (0)	Glasproben	Quantitative Bestimmung der Lichtdurchlässigkeit für ultraviolettes Licht verschiedener Wellenlängen.
13 (0)	Glasproben	Quantitative Bestimmung der Lichtdurchlässigkeit für sichtbares Licht verschiedener Wellenlängen.
8 (0)	Rotgläser	Quantitative Bestimmung der Lichtdurchlässigkeit für Licht verschiedener Wellenlänge.
6 (0)	Glasproben	Durchlässigkeit für weißes Licht.
1 (0)	Zielfernrohr	Lichtstärke und Vergrößerung.
6 (8)	Prismengläser	Lichtdurchlässigkeit und verschiedene optische Konstanten.
1 (0)	Photographisches Objektiv	Lage der Bildflächen.
11 (8)	Photographische Objektive	Brennweite, Schnittweite, Verzeichnung für verschiedene Bildwinkel, Lage der Knotenpunkte.
4 (7)	Glasplatten	Ebenheit.
1 (0)	Sextantenspiegel	Planparallelismus.
2 (0)	Paar Probegläser	Krümmungsradien.

Die Prüfungen der Glasproben auf quantitative Durchlässigkeit für ultraviolettes und sichtbares Licht verschiedener Wellenlänge wurden durch photometrische Auswertung der mit einem Quarzspektrographen für diese Glasproben aufgenommenen Spektrogramme erhalten. Die Untersuchungen der Rotgläser erfolgten mit einem König-Martensschen Spektralphotometer.

136. Viellinienspektrum des Wasserstoffs[2]. Die Untersuchung des Viellinienspektrums wurde fortgesetzt. Es fand sich, daß die letzten ultravioletten Linien desselben bei 3300 Å-E liegen; bei kürzeren Wellenlängen zeigen Röhren mit reinem Wasserstoff keine Linien bis in die Gegend 1950 Å-E, die sich mit dem hiesigen, großen Rowlandschen Gitter noch photographieren läßt. Dagegen ist das kontinuierliche Wasserstoffspektrum in dem ganzen, linienfreien Teil des Ultraviolett intensiv vorhanden. Dieses Kontinuum zeigte für die Wellenlängen 2400, 2900, 3500 Å-E die gleiche Anregungsfunktion, wie durch Photographie des Spektrums eines gebremsten Kathodenstrahls und Registrierung mittels Koch-Goosschen Registrierphotometers gefunden wurde, im Gegensatz zu der Anregungsfunktion der roten Bande 6100 Å-E, deren Verlauf ein anderer ist. — Den früher gefundenen, symmetrischen Liniengruppen werden zwei neue mit den Mitten 5881 und 5832 Å-E hinzugefügt; die meisten dieser Linien sind solche, die Zeeman-Effekt zeigen. — Zur Erleichterung der Beobachtungen am großen Gitter wurde ein praktisches Verfahren angewendet, das die Ordnungszahl jeder Linie eindeutig feststellen läßt; es besteht in einem, vor dem Spalt angebrachten, $^1/_{10}$ mm dünnen Flußspatplättchen. Dieses Plättchen bewirkt, daß jede einzelne Spektrallinie von Interferenzminimis durchzogen ist, deren Anzahl von der Wellenlänge abhängt und somit die Ordnungszahl des Spektrums dieser Linie markiert.

137. Heliumlinien[3]. Die Linien 4686 und 3203 Å-E wurden mit großem Rowlandschen Gitter in zweiter Ordnung photographiert, wobei zwecks Abkürzung der Expositionszeit eine Zylinderlinse aus Quarz von 12 cm Brennweite vor der photographischen Platte aufgestellt war; die Zylinderlinse drängte die in einer Linie enthaltene Energie auf etwa den 10. Teil ihrer Höhe zusammen. So konnten mittels der von Paschen (*Ann. d. Phys.* ***50****, S. 901. 1916*) angegebenen Entladungsröhre in 48stündiger Expositionszeit Bilder der Linien erhalten werden, und zwar sowohl bei Erregung mit 50 periodischem Wechselstrom (städtische Zentrale und Transformator), wie auch bei Einschaltung einer Funkenstrecke nebst Kapazitäten von 20000 bis 50000 cm. Die Messungen ergaben innerhalb der Beobachtungsfehler völlige Übereinstimmung mit den von Paschen gefundenen Zahlen.

---

[1] Brodhun, Schönrock, Wetthauer.

[2] Gehrcke, Lau. [3] Leo.

Die Intensitätsverteilungskurve der roten Wasserstofflinie wurde als bestehend aus einem Dublett, deren jede Komponente innerhalb der Beobachtungsfehler mit der Gaußschen Fehlerkurve übereinstimmt, festgestellt. Die mittels Koch-Goosschen Registrierphotometers erhaltene Kurve ist im Einklang mit der Auffassung, daß die Intensitätsverteilung jeder Komponente durch den Doppler-Effekt der leuchtenden Teilchen bestimmt wird (Anhang 1, Nr. 91). *138. Intensitätsverteilung von H_α[1]).*

Das bisherige Beobachtungsmaterial, betreffend die Feinstruktur der Balmer-, Fowler-, Pickering-Serie und der Röntgendublette wurde kritisch gesichtet. Das Ergebnis ist veröffentlicht (Anhang 1, Nr. 93). *139. Feinstruktur der Spektrallinien[2]).*

Es wurden die Wechselwirkungen zwischen stereoskopischen Effekten und Täuschungseffekten untersucht. Es zeigt sich, daß wenn man den beiden Augen zwei gleiche Figuren darbietet, die aber durch ihre Anordnung inmitten schiefer Linien subjektiv verschieden gesehen werden, stereoskopische Effekte auftreten. Die verschieden starke Täuschung ist dabei einer Querdisparation äquivalent. Ferner zeigt sich, daß gewisse Täuschungen zurücktreten, wenn einzelne Teile der Täuschungsfiguren durch reale Querdisparation in verschiedene Ebenen verlegt werden. Die Heringsche Theorie des Tiefensehens reicht zur Erklärung der Erscheinungen nicht aus, vielmehr haben wir im stereoskopischen Sehen einen Prozeß vor uns, der einer Vergleichung von Gestaltgebilden funktionell gleichkommt (Anhang 1, Nr. 94). *140. Stereoskopie des Sehens[2]).*

Laboratorium für Radioaktivität.

Im Berichtsjahre wurden 70 Radium-, 23 Mesothor- und 1 radioaktives Präparat unbekannter Art nach der γ-Strahlenmethode geprüft. Außerdem lagen einige Anträge auf Untersuchung sehr schwach radioaktiver Materialien (Erze bzw. Erzrückstände) vor, die zum Teil längere chemische Vorarbeiten erforderten. An diesen Vorarbeiten war auch das Chemische Laboratorium beteiligt. *141. Prüfung radioaktiver Präparate[3]).*

Das im vorjährigen Tätigkeitsbericht bereits kurz beschriebene Instrument zur Unterscheidung von Radium, Mesothor und Radiothor wurde nach Aufnahme der Eichkurven nunmehr in den Prüfbetrieb übernommen (Anhang 1, Nr. 101).

Es wurden 14 Radium-Normalampullen seitens der Reichsanstalt abgegeben, davon einige nach dem Ausland.

Um auch mit dem Spitzenzähler eine exakte Zählung der von 1 g Radium pro Sekunde emittierten α-Teilchen durchzuführen, wurden die Eigenschaften dieses Zählers zunächst weiter untersucht. Insbesondere wurde der Nachweis erbracht, daß der Zähler wirklich auf jedes durch die Öffnung eintretende α-Teilchen anspricht. Die hierfür benutzte Anordnung war folgende: Die α-Strahlen durchsetzten einen Zähler, wobei sie auf einem photographischen Film registriert wurden und fielen dann auf einen Zinksulfidschirm. Die dort auftretenden Szintillationen wurden durch einen Beobachter auf demselben photographischen Film durch elektromagnetisch ausgelöste Lichtzeichen registriert. Nach Entwicklung des Films zeigte sich, daß stets dann, wenn eine Szintillation beobachtet worden war, auch der Zähler den Eintritt eines α-Teilchens verzeichnet hatte. Dies beweist, daß jedes in den Zähler eintretende α-Teilchen auch wirklich einen Elektrometer Ausschlag hervorruft. *142. Zahl der α-Teilchen pro g Radium[4]).*

Bis jetzt wurden unter weitgehend variierten Bedingungen 43000 α-Teilchen photographisch registriert, wobei sich im Mittel die Zahl der pro Sekunde und Gramm Radium emittierten α-Teilchen zu $3{,}48 \cdot 10^{10}$ ergab. Die Versuche sind noch nicht abgeschlossen.

Die Quantentheorie ist bekanntlich außerstande, die Erscheinungen der Interferenz zu erklären, solange man an den bewährten physikalischen Grundprinzipien festhält. Deshalb haben kürzlich Bohr, Kramers und Slater den Standpunkt geltend gemacht, daß der Energie- und Impulssatz statistischer Natur ist und im Elementarprozeß der Wechselwirkung zwischen Strahlung und Materie nicht erfüllt ist. In einer kurzen Notiz (Anh. 1, Nr. 107) ist bereits darauf hingewiesen, daß diese Auffassung am Compton-Effekt experimentell nachgeprüft werden kann. Nach der ursprünglichen Vorstellung besteht dieser Effekt darin, daß bei einem Zusammenstoß zwischen einem Strahlungsquant und einem Elektron beide gleichzeitig nach verschiedenen Richtungen fortfliegen, *143. Strahlungsstatistik[3]).*

[1]) Gehrcke, Lau. [2]) Lau.
[3]) Geiger, Bothe. [4]) Geiger.

so daß man bei Registrierung der gestreuten Quanten einerseits und der Rückstoßelektronen andererseits mittels je einer Zählkammer Koinzidenzen zwischen beiden Zählreihen beobachten müßte. Nach der Auffassung von Bohr, Kramers und Slater dürften dagegen die beiden Zählreihen keinerlei Abhängigkeit voneinander aufweisen.

Versuche zur Prüfung dieser Frage sind im Gange. Da die Zählkammer Quanten nicht vollzählig registrieren kann, sind nur zwischen wenigen der beiderseitigen Zählerausschläge Koinzidenzen zu erwarten, daher muß das Kriterium für eine Koinzidenz möglichst scharf sein. Es ist bisher gelungen, das Zeitintervall, innerhalb dessen zwei aufeinanderfolgende Ausschläge nicht mehr als getrennt beobachtet werden können, auf 0,001 sec herabzudrücken. Die für die Erzeugung der Röntgenstrahlen nötige Anlage für konstante Hochspannung von 80 kV ist fertiggestellt und in Betrieb genommen. Es ist zu hoffen, daß die Versuche bald zu einem Resultat führen werden.

144. Emissionsrichtung von Photoelektronen[1]. Der Mechanismus der photoelektrischen Elektronenauslösung durch Röntgenstrahlen, dessen Kenntnis von entscheidender Bedeutung für unsere Vorstellung vom Wesen der Strahlung zu werden verspricht, ist bisher noch in Dunkel gehüllt. Es wurden deshalb bereits im Vorjahre Untersuchungen begonnen, um über Einzelheiten des Vorganges wie die Emissionsrichtung Aufschluß zu erhalten (vgl. Tätigkeitsbericht 1923). Die anfangs hierzu benutzte Wilsonsche Nebelmethode erwies sich als zu schwerfällig. Die quantitativen Versuche wurden daher nach einer neuen Methode ausgeführt, welche darin besteht, daß mittels eines Geigerschen Spitzenzählers die nach verschiedenen Richtungen ausgesandten Elektronen gezählt werden. Auf diese Weise wurde die Richtungsverteilung der Photoelektronen in Abhängigkeit von der Röhrenspannung (25 bis 60 kV_{eff}) und von der Natur des gasförmigen Elektronenstrahlers (Luft, Methyljodid, Äthylbromid, Chloroform) untersucht. Als Form der Verteilungskurve ergab sich in allen Fällen die bereits nach der Wilsonschen Methode festgestellte. Der mittlere Emissionswinkel ist stets etwas kleiner als 90°, und zwar um so mehr, je härter die Röntgenstrahlen sind. Dies hat zur Folge, daß stets mehr Elektronen mit einer Vorwärtskomponente als mit einer Rückwärtskomponente emittiert werden. Diese (bereits seit längerer Zeit bekannte) Asymmetrie nimmt zu mit wachsender Strahlenhärte und abnehmendem Atomgewicht des Strahlers, vorausgesetzt, daß es sich immer um Elektronen aus dem gleichen Atomniveau (z. B. K-Niveau) handelt; die Abweichungen von diesen Regelmäßigkeiten, welche Jod bei niedriger Röhrenspannung aufweist, erklären sich daraus, daß hier nicht wie in den anderen Fällen in der Hauptsache K-, sondern L-Emission gemessen wurde. Die gefundenen Absolutwerte der Asymmetrie dürften eine erheblich größere Genauigkeit beanspruchen als die früher gemessenen, da eine der Hauptfehlerquellen bei derartigen Messungen, die Zerstreuung der Elektronen in dem Strahler, hier weitgehend unterdrückt werden konnte[2] (Anh. 1, Nr. 102).

Wenn auch die experimentellen Ergebnisse noch nicht ausreichen, um sichere Schlüsse über die Natur des Emissionsvorganges daraus zu ziehen, so ist es doch bemerkenswert, daß folgende einfachen theoretischen Annahmen ausreichen, um diese Ergebnisse zu erklären: Das Strahlungsquant macht mit dem Elektron und dem Atomrumpf einen kurzdauernden Stoßprozeß durch, bei welchem Energie, Impuls und Drehimpuls des ganzen Systems erhalten bleiben; ein solcher Prozeß kann sich nur abspielen, wenn die Verbindungslinie Elektron—Kern senkrecht zur Strahlenrichtung verläuft und das Elektron selbst von dem Schwerpunkt des Strahlungsquants getroffen wird (Anh. 1, Nr. 103).

145. Schleifen-Elektrometer[3]. Einem versilberten Quarzfaden wird dadurch eine definierte Ruhelage gegeben, daß man ihn zu einer fast kreisförmigen Schlinge biegt, deren Enden festgehalten sind. Das Mikroskop ist auf die Mitte des Fadens eingestellt; beobachtet wird die seitliche Verschwenkung der Fadenebene unter dem Einfluß elektrischer Kräfte.

Die nach diesem Prinzip gebauten Elektrometer zeichnen sich durch kleine Abmessungen aus,

---

[1]) Bothe.

[2]) Die Durchführung dieser Versuche wurde ermöglicht durch die freundliche Überlassung von Hochspannungsapparaten seitens des Herrn Prof. Dessauer, Frankfurt a. M., der Elektrizitätsgesellschaft Sanitas und der Osram G. m. b. H.

[3]) Kolhörster.

sind unabhängig von Temperatureinflüssen und durchaus transportsicher. Sie können als Ein- oder Zweifadeninstrumente gebaut werden.

Ihre Kapazität ist klein (1 bis 2 cm) und ihre Spannungsempfindlichkeit läßt sich in weiten Grenzen verändern, beim Einfadeninstrument z. B. von 2 bis 0,02 Volt/Skalenteil. Die Instrumente werden von der Firma Günther & Tegetmeyer gebaut (Anh. 1, Nr. 111).

146. Höhenstrahlung[1]). Während eines 14tägigen Aufenthalts auf dem Jungfraujoch im Sommer 1924 wurden die Versuche des vorausgehenden Jahres mit verbesserten Hilfsmitteln fortgesetzt. Zur Steigerung des Ionisationseffekts wurden die Elektrometer mit Wolframblechen ausgelegt. Für die γ-Strahlen von Radium *C* konnte dadurch die Ionisationswirkung im Instrument verdoppelt werden; für die viel härtere Höhenstrahlung ließ sich allerdings auf diese Weise nur eine Steigerung des Ionisationseffekts um 25 % erzielen, was wohl darauf zurückzuführen ist, daß die erhältlichen Wolframbleche noch keine ausreichende Dicke besaßen.

Die im Vorjahre angedeutete zeitliche Periode der Höhenstrahlung am Jungfraujoch wurde auch in diesem Jahre sowohl mit den Wolframapparaten wie mit den früher schon benutzten Zinkapparaten wiedergefunden. Das Hauptmaximum trat wieder zwischen 8 und 9^h, das Minimum zwischen 12 und 14^h auf, das Abendmaximum etwas früher, um 18^h. Um 4^h war ferner noch ein schwächeres Maximum angedeutet.

Chemisches Laboratorium.

Außer den laufenden Laboratoriumsarbeiten, die aus den Bedürfnissen der einzelnen Abteilungen hervorgingen, sind die nachstehenden größeren Untersuchungen ausgeführt worden:

147. Glas[2]). Natürliche und Verwitterungs-Alkalität von optischen Gläsern. Eingegangen sind 20 Glasplättchen, die nach dem Eosinverfahren untersucht wurden. Eine Probe eines kunststeinähnlichen Silikats „Terraflat" wurde auf Antrag des Einsenders gleichfalls nach der Eosinmethode untersucht.

„Fleckenempfindlichkeit" von optischen Gläsern. Auf Anregung von Professor Dr. Weidert wurde die Frage einer in Zahlenwerten ausdrückbaren Bestimmung der Fleckenempfindlichkeit, die neben der Verwitterung bei bestimmten Glasarten in Erscheinung tritt, weiter verfolgt. Unter Mitarbeit von Dr. Heinrichs von den Sendlinger Optischen Glaswerken, dem geeignetes, beim Verhalten in der Praxis beobachtetes Glasmaterial zur Verfügung steht, wurde versucht durch Behandlung des Glases mit verdünnten organischen Säuren (z. B. Essigsäure von 0,5 %) ein System aufzubauen, das gestattet, die typischen Oxyde, wie Bleioxyd und Baryt, in Sondergläsern auch andere (z. B. Antimonoxyd) durch eine einfache chemische Methode zu bestimmen und auf Grund ihrer Löslichkeit zu einer Klassifizierung der Glasarten zu gelangen.

Eine ausführliche Veröffentlichung der Versuchsarbeiten wird von Heinrichs und Tepohl bearbeitet.

Prüfungen von Hohlglas. Die Prüfungen betrafen hauptsächlich Gläser, die zur Anfertigung von Ampullen für Injektionslösungen und andere medizinische Zwecke dienen sollten. Auf Antrag der Einsender wurden die Prüfungsmethoden erweitert, und außer der üblichen, als Grundlage dienenden „Lösungsalkalität" auch noch die Löslichheit in alkalischen Flüssigkeiten ($^n/_1$ Na_2CO_3, $^n/_1$ NaOH) bestimmt. Da die Ampullen bisweilen bei höheren Temperaturen in Dampf sterilisiert werden, wurde zugleich ihr Verhalten beim Erhitzen im Autoklaven unter Druck untersucht.

Als zweckmäßig erwies sich eine Autoklaventemperatur von 170° (etwa 8 Atm.). Für mangelhafte Glassorten eignet sich die Autoklavenprobe nicht.

Zur Prüfung in den alkalischen Normallösungen diente ein etwa zwei Liter fassendes Silbergefäß, dessen Deckel mit Rückflußkühler versehen war, zur Verhinderung von Konzentrationsänderungen. Die Röhren wurden an Silberdrähten hängend drei Stunden in der siedenden Lösung belassen. Getrocknet wurde gleichmäßig bei 150° vor und nach dem Versuch, und die Gewichtsabnahme (ausgedrückt in mg auf ein qdm Oberfläche) bestimmt.

---

[1]) Kolhörster.

[2]) Fischer, Tepohl.

Eine Veröffentlichung über den gegenwärtigen Stand der Hohlglasprüfungen wird von E. Fischer bearbeitet.

148. Chrom[1]. Untersucht wurde eine Probe, die nach einem neueren elektrolytischen Verfahren hergestellt war. Der Chromgehalt wurde durch jodometrische Messungen, nach der Oxydation mit Natriumsuperoxyd, im Mittel zu 99,70% befunden. Von fremden Metallen waren nachweisbar — durch die üblichen Reaktionen — Fe und Pb.

149. Aluminium[2]. Über „Thermische Proben für Aluminium-Dünnblech im Reagenzrohr" liegt eine amtliche Veröffentlichung vor (Anhang 1, Nr. 119), deren Inhalt schon im vorjährigen Bericht erwähnt wurde. Die Arbeit wurde fortgesetzt in der Richtung von Versuchen, welche die Verminderung der starken Einwirkung von Seewasser auf Aluminium zum Zweck haben.

150. Metallsäuren[3]. Es wurde die Wasserlöslichkeit einiger schwerlöslicher Metallsäuren durch elektrische Leitfähigkeitsmessung bestimmt. Ferner wurde die Lichtabsorption der Anionen dieser Metallsäuren im sichtbaren und ultravioletten Gebiet in alkalischer Lösung auf photographischem Wege ermittelt. Die Messungen wurden ausgeführt zum Vergleich der Verschiebung der Lichtabsorption der Metallsäuren mit steigendem Atomgewicht in den Gruppen des periodischen Systems.

Die Versuche werden fortgesetzt.

151. Photochemische Arbeiten[4]. 1. Im Anschluß an die Untersuchung über die Gültigkeit des Quantenäquivalents bei Bromsilberemulsionsplatten wurden reine Chlorsilber- und Auskopieremulsionen untersucht.

Für Chlorsilber ergab sich für $\lambda = 365\ \mathrm{m}\mu$ die Gültigkeit des Quantenäquivalents (Anhang 1 Nr. 120).

Von Auskopieremulsionen wurde besonders die Valentaemulsion quantitativ untersucht (Anhang 1, Nr. 121).

Für $365\ \mathrm{m}\mu$ wurde hier die Geltung des Äquivalentgesetzes wahrscheinlich gemacht. Die Grünempfindlichkeit vorbelichteter Valentaplatten wurde gemessen und nicht als Sensibilisation, sondern als Photolyse einer bei der Vorbelichtung mit blauem Licht entstehenden Adsorptionsverbindung von Chlorsilber mit Silber erklärt.

2. Die absolute Lichtempfindlichkeit photographischer Platten (Agfa-Spezial, Agfa-Reproduktion und bindemittelfreie Platten von Hilger) wurde für die Wellenlängen 620, 546, 436, 407, 365, 313, 253, 220 und 186 $\mathrm{m}\mu$ bestimmt.

3. Die Versuche über die Anwendung der Silberbestimmung und die Kornzählung zur Messung der photographischen Schwärzung wurden erweitert.

Die photographische Schwelle ergab sich:

1. Durch Berechnung der Unterschiedsempfindlichkeit des Auges zu 0,004,
2. durch Messung mit der Thermosäule zu 0,005,
3. durch Kornzählung und Silberbestimmung zu 0,005.

Die Deckkraft des Silbers verschiedener Emulsionen wurde bestimmt und zeigte eine starke Abhängigkeit von der Korngröße.

4. Die Struktur des latenten Bildes wurde untersucht. Die katalysierende Wirkung der Keime bei der Entwicklung wird in hohem Maße durch ihre Größe und Struktur bedingt. Zu große Keime katalysieren die Entwicklung fast nicht mehr und führen zur Solarisation.

5. Der Durchhang der charakteristischen Kurve für Licht läßt sich durch die nach der Wahrscheinlichkeit verteilten Empfindlichkeiten der einzelnen Bromsilberkörner erklären. Diese Verschiedenheit besteht nur für sehr kleine Keime, sie fällt fort für alle Strahlen, deren Elementarquanten viele Silberatome freimachen.

6. Die Untersuchung der Lichtempfindlichkeit der Retina ergab, daß im Gebiet der maximalen Absorption des Sehpurpurs ($500\ \mathrm{m}\mu$) etwa $30\,h\nu$ genügen, um eine Lichtempfindung hervorzubringen.

Aus der Verminderung der Lichtintensität in den brechenden Medien des Auges und der

[1] Fischer. [2] Mylius a. Gast.
[3] Noddack, Tepohl. [4] Noddack.

Stäbchendichte auf der Retina läßt sich der Schluß ziehen, daß unter Umständen 1 $h\nu$ wahrgenommen wird, doch waren die physiologischen Störungen bei den geringen Lichtintensitäten so groß, daß eine Registrierung einzelner Quanten bisher nicht sicher gelang.

Werkstatt[1]).

Im Berichtsjahr wurden folgende größeren Arbeiten vollendet: *152. Herstellung von Apparaten usw.*

- Apparat zur Messung der Bremskraft von Magneten,
- Juliussche Aufhängung für Galvanometer,
- Ablesevorrichtung für ein Torsionsdynamometer,
- Vorrichtung zur Messung des Kontaktwinkels zwischen Metall und Öl,
- Bearbeitung einer Hochdruck-Ionisationskammer,
- Mikromanometer nach Recknagel,
- Zwei Galvanometer nach Nernst,
- Magnetometer-Gehänge,
- Eichvorrichtung für Torsionsdynamometer,
- Poliervorrichtung für Eisenproben,
- Vier Emanationstrichter,
- Achsenfehler-Apparat,
- Druckrohr zur Prüfung von Tiefsee-Thermometern,
- Justiervorrichtung für lange Endmaße,
- Logarithmische Glasteilung,
- Photometerkugel.

Die Stempelungen von Maßstäben, Endmaßen, Hefnerlampen, Stimmgabeln usw. hatten den gewohnten Umfang.

Anhang 1.

Veröffentlichungen der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt.

Allgemeines.

1. Bericht über die Tätigkeit der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt im Jahre 1923. *Zeitschr. f. Instrkde.* ***44.*** *S. 73. 1924.*
2. Wissenschaftliche Abhandlungen der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt. Bd. VII. Heft 2. 4⁰. 259 Seiten. Bd. VIII. Heft 1. 4⁰. 285 Seiten. Berlin, Julius Springer 1924.
3. Bekanntmachungen über Prüfungen und Beglaubigungen durch die Elektrischen Prüfämter Nr. 172—190. *Reichsministerialblatt* ***52.*** *S. 6, 7, 59, 87, 171, 177, 178, 193, 196, 255, 279, 303, 327, 337, 350, 388. 1924. Elektrotechn. Zeitschr.* ***45.*** *S. 163, 186, 214, 307, 368, 594, 626, 752, 776, 806, 828, 1006, 1032, 1060, 1217, 1349, 1385, 1412. 1924.* ***46.*** *S. 52. 1925.*
4. Bekanntmachung über die gesetzliche Temperaturskala und die Prüfung von Thermometern. *Reichsministerialblatt* ***52.*** *Nr. 40. 1924; Zeitschr. f. Instrkde,* ***44.*** *S. 517. 1924.* Im Auszug: *Zeitschr. f. Physik* ***29.*** *S. 394. 1924, Ann. d. Physik* ***75.*** *S. 853. 1924.*
5. Mitteilungen der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt, Abteilung I für Maß und Gewicht, Jahrg. 1924. 8. Reihe, Nr. 1—5. Berlin, Julius Springer 1924.

Abteilung I.

Amtliche Veröffentlichungen.

6. Block, Über die Herstellung von Aräometern. *Zeitschr. f. angew. Chem.* ***37.*** *S. 736. 1924.*
7. Block und Dziobek, Über ein Verfahren zur Prüfung von Kubizierapparaten. *Gas- u. Wasserfach, 1924. S. 403.*
8. Göpel, Flankenmeßgerät. *Zeitschr. f. Feinmech. u. Präz.* ***32.*** *S. 101. 1924.*

[1]) Block.

9. Werner, Thermische Ausdehnung von weichem und gehärtetem Stahl. *Zeitschr. f. Instrkde.* **44.** *S. 315. 1924.*

Vgl. ferner Allgemeines unter 5. In den „Mitteilungen" sind auch die amtlichen im Reichsgesetzblatt und im Deutschen Reichsanzeiger veröffentlichten Bestimmungen abgedruckt.

Private Veröffentlichungen.

10. Drewitz, Der Begriff des landwirtschaftlichen Gewerbes im Sinne des § 22 der Maß- und Gewichtsordnung nach der Rechtsprechung der letzten 10 Jahre. *Mitteil. d. PTR Abt. I 1924. S. 38.*
11. Drewitz, Bearbeitung und kritische Besprechung der Judikatur im Maß- und Gewichtsrecht. *Jurist. Wochenschr., Ausg. B, Heft 8 v. 15. 4. 24. S. 551; Heft 11 v. 1. 6. S. 824, 852, 853; Heft 24/25 v. 10./20. Dez. S. 2056, 2057.*
12. Roerdansz, Richtlinien der amtlichen Eichung von Meßwerkzeugen für wissenschaftliche und technische Untersuchungen. *Zeitschr. f. angew. Chem.* **37.** *Heft 26. 1924.*
13. Lenk, Die Reichanstalt für Maß und Gewicht und die Grundlagen der deutschen Maß- und Gewichtswesens. *Anz. f. Berg-, Hütten- u. Maschinenw. Nr. 34—36. 1924.*

Abteilung II.

Amtliche Veröffentlichungen.

14. Alberti und Günther-Schulze, Untersuchungen an Silitwiderständen bei Hochfrequenz. *Zeitschr. f. techn. Phys.* **6.** *S. 11. 1925.*
15. Engelhardt, Zur Messung der dielektrischen Festigkeit von Isolierölen. *Arch. f. Elektrotechn.* **13.** *S. 181. 1924.*
16. Giebe und Alberti, Absolute Messung der Frequenz elektrischer Schwingungen für Normalfrequenz- oder Wellenmesser. *Zeitschr. f. techn. Phys.* **6.** *1925.*
17. Grüneisen und Goens, Untersuchungen an Metallkristallen. I. Elastische Konstanten von Zink und Cadmium. *Zeitschr. f. Phys.* **25.** *S. 235. 1924.*
18. Grüneisen und Goens, Untersuchungen an Metallkristallen. II. Spezifische Wärme und elektrischer Widerstand von Zink und Cadmium. *Zeitschr. f. Phys.* **27.** *S. 250. 1924.*
19. Grüneisen und Goens, Untersuchungen an Metallkristallen. III. Thermische Ausdehnung von Zink und Cadmium. *Zeitschr. f. Phys.* **29.** *S. 141. 1924.*
20. Günther-Schulze, The influence of the shape of the cathode on tbe normal current density of the glow discharge. *Meeting Amer. Electrochem. Soc. Herbst 1923.*
21. Günther-Schulze, Der Normalgradient von Gasen und Gasgemischen bei der selbständigen Entladung. *Zeitschr. f. Phys.* **22.** *S. 70. 1924.*
22. Günther-Schulze, Die Energieverteilung an der Kathode der Glimmentladung (Nachtrag). *Zeitschr. f. Phys.* **23.** *S. 334. 1924.*
23. Günther-Schulze, Die Wirkung eines transversalen Magnetfeldes an der Kathode der Glimmentladung. *Zeitschr. f. Phys.* **24.** *S. 140. 1924.*
24. Günther-Schulze, Kathodenfall, Stromstärke und Fallraumdicke der Glimmentladung in Gemischen von Gasen, die chemisch nicht miteinander reagieren. *Zeitschr. f. Phys.* **28.** *S. 129. 1924.*
25. Günther-Schulze, Einige neue charakteristische Abstände bei der Glimmentladung. *Zeitschr. f. Phys.* **30.** *S. 175. 1924.*
26. Günther-Schulze, Über ein Pseudohochvakuum. *Zeitschr. f. Phys. 1925.*
27. Jaeger und v. Steinwehr, Kondensator im Wechselstromkreis mit Ventil. *Arch. f. Elektrotechn.* **13.** *S. 330. 1924.*
28. Jaeger und v. Steinwehr, Über die Festsetzung der Verbrennungswärme von Normalsubstanzen. *Zeitschr. f. physikal. Chem.* **114.** *S. 59. 1924.*
29. Rogowski und V. Vieweg, Zusätzliche Verluste in kleinen Drehstrommotoren. *Arch. f. Elektrotechn.* **14.** *1925.*

30. Schröter, Ein neuer Apparat zur Messung magnetischer Felder. *Zeitschr. f. Instrkde.* **44.** *S. 477. 1924; Arch. f. Elektrotechn.* **14.** *1925.*

31. Schering und Schmidt, Die elektrostatische Anziehung bei festen Isolierstoffen. *Zeitschr. f. techn. Phys.* **6.** *S. 19. 1925.*

Private Veröffentlichungen.

32. Behnken, Die Eichung von Dosismessern in absolutem Maße in der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt. *Fortschr. a. d. Geb. d. Röntgenstrahlen. 1. Kongreßheft. S. 92. 1924.*

33. Engelhardt, Die Tauschstelle für wissenschaftliche Literatur. *Berl. Hochschulnachr. 10. Sem. 2. Heft. S. 11. 1923.*

34. Engelhardt, Kathodenstrahloszillographen. *Radioexport* **1.** *S. 164. 1924.*

35. Engelhardt, Zur Prüfung der Durchschlagsfestigkeit von Isolierölen. *Helios* **30.** *S. 269. 1924.*

36. Giebe, Internationale Messungen der Wellenlängen von Funkenstationen. (Gemeinsam mit E. Alberti und G. Leithäuser.) Auszug aus einem Vortrag auf der Innsbrucker Naturforscherversammlung. *Zeitschr. f. techn. Phys.* **5.** *S. 547. 1924.*

37. Gumlich, Mitarbeit an dem Physikal. Handwörterbuch. Berlin, Julius Springer.

38. Gumlich, Mitarbeit an dem Jahrbuch der Elektrotechnik.

39. Gumlich, Diskussion über einen Aufsatz von Yensen im *Journ. of the Inst. of Amer. Electr. Eng. S. 1066. 1924.*

40. Günther-Schulze. Die Berechnung des normalen Kathodenfalles in Gasgemischen. *Zeitschr. f. Phys.* **21.** *S. 50. 1924.*

41. Günther-Schulze, Überspannungen an Quecksilberdampfgleichrichtern und ihre Ursache. *Zeitschr. f. techn. Phys.* **5.** *S. 132. 1924.*

42. Günther-Schulze, Normaler Kathodenfall der Glimmentladung und Ablösearbeit der Elektronen. *Zeitschr. f. Phys.* **24.** *S. 52. 1924.*

43. Günther-Schulze, Der normale Kathodenfall der Glimmentladung und die Ablösearbeit der Elektronen an Elektrolytkathoden. *Zeitschr. f. Elektrochem.* **30.** *S. 289. 1924.*

44. Günther-Schulze, Chemische Reaktionen in der Glimmentladung. *Zeitschr. f. Elektrochem.* **30.** *S. 386. 1924.*

45. Günther-Schulze, Über die Existenz des Lichtbogens bei nichtglühender Kathode. *Zeitschr. f. Phys.* **28.** *S. 325. 1924.*

46. Günther-Schulze, Die physikalischen Vorgänge im Quecksilberdampfgleichrichter. *Zeitschr. f. techn. Phys.* **5.** *S. 33. 1924; Helios* **30.** *S. 17. 1924.*

47. Günther-Schulze, Über die dielektrische Festigkeit. 142 Seiten. München, Verlag Kösel & Pustet, 1924.

48. Günther-Schulze, Elektrische Ventile und Gleichrichter. *Ergebn. d. exakt. Naturwissensch., Band III. S. 277. 1924.*

49. Günther-Schulze, Elektrische Gleichrichter und Ventile. 181 Seiten. München, Kösel & Pustet 1924.

50. Meißner, Mitarbeit am Lehrbuch der technischen Physik, herausgegeben von G. Gehlhoff.

51. Rogowski und Vieweg, Zusätzliche Verluste in kleinen Drehstrommotoren. *Elektrotechn. Zeitschr.* **45.** *S. 988. 1924.*

52. Schering, Die Isolierstoffe der Elektrotechnik. Berlin, Julius Springer 1924.

53. Schering, Die Definition der Schein- und Blindleistung sowie des Leistungsfaktors bei Mehrphasenstrom. *Elektrotechn. Zeitschr.* **45.** *S. 710. 1924.*

54. Schmidt, Mitarbeit am Physikalischen Handwörterbuch. Berlin, Julius Springer 1924.

55. A. Schulze, Die elektrische Leitfähigkeit der Legierungen. *Helios* **30.** *S. 161, 169, 177, 1924.*

56. A. Schulze, Die elektrische Leitfähigkeit von verdünnten metallischen Lösungen im kristallisierten Zustande. *Helios* **30.** *S. 321, 333. 1924.*

57. A. Schulze, Mitarbeit an Guertlers Handbuch der Metallographie: Die elektrische Leitfähigkeit der Legierungen und Verbindungen I.

58. R. Vieweg, Über Kontaktpotentialdifferenzen zwischen im Vakuum geglühten Metallen. *Ann. d. Phys.* ***74.*** *S. 146. 1924.*

59. R. Vieweg, Zur Bestimmung der Schmiermittelreibung. *Petroleum* ***20.*** *S. 899. 1924.*

Abteilung III.

Amtliche Veröffentlichungen.

60. Erk, Zähigkeit und Strömungswiderstand von kalten Flüssigkeiten und Gasen. *Zeitschr. f. d. ges. Kälteindustr.* ***31.*** *S. 49, 73, 116. 1924.*

61. Henning, Über die effektive Wellenlänge von Farbgläsern bei der optischen Pyrometrie. *Zeitschr. f. Phys.* ***30.*** *S. 285. 1924.*

62. Henning und Heuse, Darstellung der Temperaturskale zwischen 0 und —193° durch das Platinwiderstandsthermometer. *Zeitschr. f. Phys.* ***23.*** *S. 95. 1924.*

63. Henning und Heuse, Eine neue Bestimmung der normalen Siedepunkte von Sauerstoff, Stickstoff und Wasserstoff. *Zeitschr. f. Phys.* ***23.*** *S. 105. 1924.*

64. Henning und Heuse, Über ein Mikropyrometer mit spektraler Zerlegung und die optisch beobachteten Schmelzpunkte einiger Platinmetalle. *Zeitschr. f. Phys.* ***29.*** *S. 157. 1924.*

65. Hoffmann, Über die relative Helligkeit schwarzer Strahlung beim Gold- und Platinschmelzpunkt. *Zeitschr. f. Phys.* ***27.*** *S. 285. 1924.*

66. Holborn, Über die Kolbenbewegung der Druckwage. *Ann. d. Phys.* ***75.*** *S. 276. 1924.*

67. Holborn und Otto, Über die Isothermen einiger Gase bis 400° und ihre Bedeutung für das Gasthermometer. *Zeitschr. f. Phys.* ***23.*** *S. 77. 1924.*

68. Holborn und Otto, Über die Isothermen von Helium, Stickstoff und Argon unter 0°. *Zeitschr. f. Phys.* ***30.*** *S. 320. 1924.*

69. Jakob, Prüfung und Bewertung von Isolierflaschen. (Wärmeschutzflaschen.) *Gesundheits-Ing.* ***47.*** *S. 321. 1924.*

70. Jakob, Vergleichsmessungen an Isolierflaschen *Glas und App.* ***5.*** *S. 164. 1924.*

71. Jakob, Das deutsche Gesetz über die Temperaturskale und die Wärmeeinheit. *Zeitschr. d. Ver. d. Ing.* ***68.*** *S. 1176. 1924.*

72. Jakob und Erk, Der Druckabfall in glatten Rohren und die Durchflußziffer von Normaldüsen. *Forschungsarb. a. d. Geb. d. Ing.-Wes. Heft 267. 28 Seiten.* Berlin, VDI-Verlag 1924.

73. Jakob und Erk, Der Druckabfall in glatten Rohren und die Durchflußziffer von Normaldüsen. *Zeitschr. d. Ver. d. Ing.* ***68.*** *S. 581. 1924.*

74. Scheel und Blankenstein, Über das spezifische Gewicht des Quecksilbers. *Zeitschr. d. Phys.* ***31.*** *S. 202. 1925.*

Private Veröffentlichungen.

75. Ebert, Grundlagen, Bau und Wirkungsweise der Vakuummeter. *Glas und App.* ***5.*** *S. 83 u. 91. 1924.*

76. Ebert, Kritisches zur Bewertung von Hochvakuumpumpenmodellen. *Zeitschr. f. Instrkde.* ***44.*** *S. 497. 1924.*

77. Ebert, Die Grundlagen der Temperaturskale. *Glas und App.* ***5.*** *S. 195 u. 203. 1924.*

78. Erk, Über den Strömungswiderstand in Rohrleitungen. *Die Röhrenindustrie* ***17.*** *S. 19. 1924.*

79. Erk, Bericht über den XI. Kongreß für Heizung und Lüftung. *Zeitschr. d. Ver. d. Ing.* ***68.*** *S. 1134. 1924.*

80. Henning, Die Bestimmung hoher Temperaturen. *Zeitschr. f. Elektrochem.* ***30.*** *S. 309 u. 397. 1924.*

81. Henning, Die Temperaturskale in Theorie und Praxis. *Zeitschr. f. Instrkde.* ***44.*** *S. 349. 1924.*

82. Jakob, Wärmeleitvermögen feuerfester Stoffe bei hohen Temperaturen. *Zeitschr. d. Ver. d. Ing.* ***68.*** *S. 181. 1924.*

83. Jakob, Der Wärmeübergang an Kondensatorrohren. *Zeitschr. d. Ver. d. Ing.* ***68.*** *S. 423. 1924.*

84. Jakob, Aus der Tätigkeit der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt im Jahre 1923. *Zeitschr. d. Ver. d. Ing.* ***68.*** *S. 611. 1924.*

85. Jakob, Wasserdampf-Forschung in Amerika. *Zeitschr. d. Ver. d. Ing.* **68.** *S. 732. 1924.*

86. Jakob, Aus der Tätigkeit des englischen Physikalischen Staatsinstitutes. *Zeitschr. d. Ver. d. Ing.* **68.** *S. 1119. 1924.*

87. Jakob, Die Physikalisch-Technische Reichsanstalt. *VDI-Nachr. 1924. Nr. 51. 2. Beibl. 2 Seiten.*

88. Jakob, Die Wärmeleitfähigkeit technisch wichtiger Metalle und Legierungen. *Zeitschr. f. Metallkde.* **16.** *S. 353. 1924.*

89. Jakob, *Nouveaux essais sur la conductibilité calorifique des liquides, matières isolantes et métaux. Chaleur et Industrie.* **5.** *S. 62. 1924.*

90. Jakob, *La conductibilité calorifique des métaux et alliages présentant de l'importance pour les applications techniques. Chaleur et Industrie* **5.** *S. 557. 1924.*

91. Scheel (mit Berliner), Physikalisches Handwörterbuch. VI u. 903 S. Berlin, Springer 1924.

92. Scheel, Die literarischen Hilfsmittel der Physik. *Naturwissenschaften* **13.** *S. 45. 1925.*

Abteilung IV.

Amtliche Veröffentlichungen.

93. Gehrcke u. Lau, Die Intensitätsverteilung der Komponenten von H_α. *Ann. d. Phys.* **74.** *S. 574. 1924.*

94. Janicki, Über die Balmerserie des Wasserstoffes. *Ann. d. Phys.* **76.** *1925.*

95. Lau, Über die Frage der Feinstruktur ausgewählter Spektrallinien. *Physikal. Zeitschr.* **25.** *S. 60. 1924.*

96. Lau, Über das stereoskopische Sehen. *Psycholog. Forschg.* **6.** *S. 121. 1924.*

97. Müller, Wolfram-Bogenlampen mit erhöhter Flächenhelle. *Zeitschr. f. techn. Phys.* **5.** *S. 250. 1924.*

98. Wetthauer, Untersuchung des Bildes in Handfernrohren nach der Methode der streifenden Abbildung. *Zeitschr. f. Instrkde.* **44.** *S. 189. 1924.*

Private Veröffentlichungen.

99. Gehrcke, Kritik der Relativitätstheorie. IV und 99 S. Berlin, Verlag Meusser 1924.

100. Gehrcke, Die Massensuggestion der Relativitätstheorie. VIII und 108 S. Berlin, Verlag Meusser 1924.

101. Liebenthal, Mitarbeit an dem Physikalischen Handwörterbuch. Berlin, Julius Springer 1924.

102. Schönrock, Mitarbeit an dem Physikalischen Handwörterbuch. Berlin, Julius Springer 1924.

Laboratorium für Radioaktivität.

Amtliche Veröffentlichungen.

103. Bothe, Die Unterscheidung von Radium, Mesothor und Radiothor durch Gammastrahlenmessung. *Zeitschr. f. Phys.* **24.** *S. 10. 1924.*

104. Bothe, Die Emmissionsrichtung durch Röntgenstrahlen ausgelöster Photoelektronen. *Zeitschr. f. Phys.* **26.** *S. 59. 1924.*

105. Bothe, Theoretische Betrachtungen über den Photoeffekt. *Zeitschr. f. Phys.* **26.** *S. 74. 1924.*

106. Bothe, Die Polarisation der gestreuten Röntgenstrahlen. *Zeitschr. f. Phys.* **31.** *S. 24. 1925.*

Private Veröffentlichungen.

107. Bothe, Über die Wechselwirkung zwischen Strahlung und freien Elektronen. *Zeitschr. f. Phys.* **23.** *S. 214. 1924.*

108. Bothe (mit Paneth), Mitarbeit an der Neuauflage von A. Stählers Handbuch der Arbeitsmethoden in der anorganischen Chemie.

109. Bothe und Geiger, Ein Weg zur experimentellen Nachprüfung der Theorie von Bohr, Kramer und Slater. *Zeitschr. f. Phys.* **26.** *S. 44. 1924.*

110. Geiger, Über die Wirkungsweise des Spitzenzählers. *Zeitschr. f. Phys.* **27.** *S. 7. 1924.*

111. Geiger und Werner, Methoden zur Zählung von α-Strahlen. *Verhdlgn. d. D. Physikal. Ges.* 5 *S. 12. 1921.*

112. Kolhörster, Die experimentellen Grundlagen der Messung der durchdringenden Strahlung. *Zeitschr. f. Instrkde.* **44.** *S. 333. 1924.*
113. Kolhörster, Ein neues Fadenelektrometer. *Zeitschr. f. Instrkde.* **44.** *S. 494. 1924.*
114. Kolhörster, Die durchdringende Strahlung in der Atmosphäre. Probleme der kosmischen Physik. 72 S. Hamburg: Verlag Henri Grand 1924.
115. Warburg, Messungen an Ozonröhren. *Zeitschr. f. techn. Phys.* **5.** *S. 165. 1924.*
116. Warburg, Kritisches zu der Arbeit des Herrn W. Th. Andersen: The photolyse of potassium nitrite solutions. *Zeitschr. f. Phys.* **20.** *S. 344. 1925.*
117. Warburg, Quantenregeln in der Photochemie. *Die Naturwiss.* **12.** *S. 1058. 1924.*
118. Warburg, Über Wärmeleitung und andere ausgleichende Vorgänge. 106 S. Berlin, Julius Springer 1924.
119. Warburg, Nachruf auf Karl Richard v. Koch. *Physikal. Zeitschr.* **25.** *S. 577. 1924.*
120. Warburg, Zur Geschichte der Physikalischen Gesellschaft. *Naturwiss.* **13.** *S. 35. 1925.*

Chemisches Laboratorium.

Amtliche Veröffentlichungen.

121. Mylius, Thermische Proben für Aluminium-Dünnblech im Reagenzrohr. *Zeitschr. f. Metallkde.* **16.** *S. 81. 1924.*
122. Eggert u. Noddack, Untersuchungen einiger Halogensilberemulsionen. *Zeitschr. f. Physik* **31.** *1925.*
123. Eggert u. Noddack, Zur Photochemie der Silberverbindungen. *Zeitschr. f. Physik* **31.** *1925.*
124. Noddack, Die photographische Schwärzung. *Zeitschr. f. techn Physik* **6.** *1925.*

Private Veröffentlichungen.

125. Block, Über die Grenzen der physikalischen Meßgenauigkeit. *Zeitschr. f. Instrkde.* **44.** *S. 366. 1924.*
126. Block, Technische Meßgeräte. *Maschinenbau* **3.** *S. 1036. 1924.*
127. Block, Über die Herstellung von Aräometern. *Glas und App.* **5.** *S. 171. 1924.*

Hilfsgeräte zur Darstellung von Schwerkraftsgradienten und magnetischen Störungsvektoren.

Von

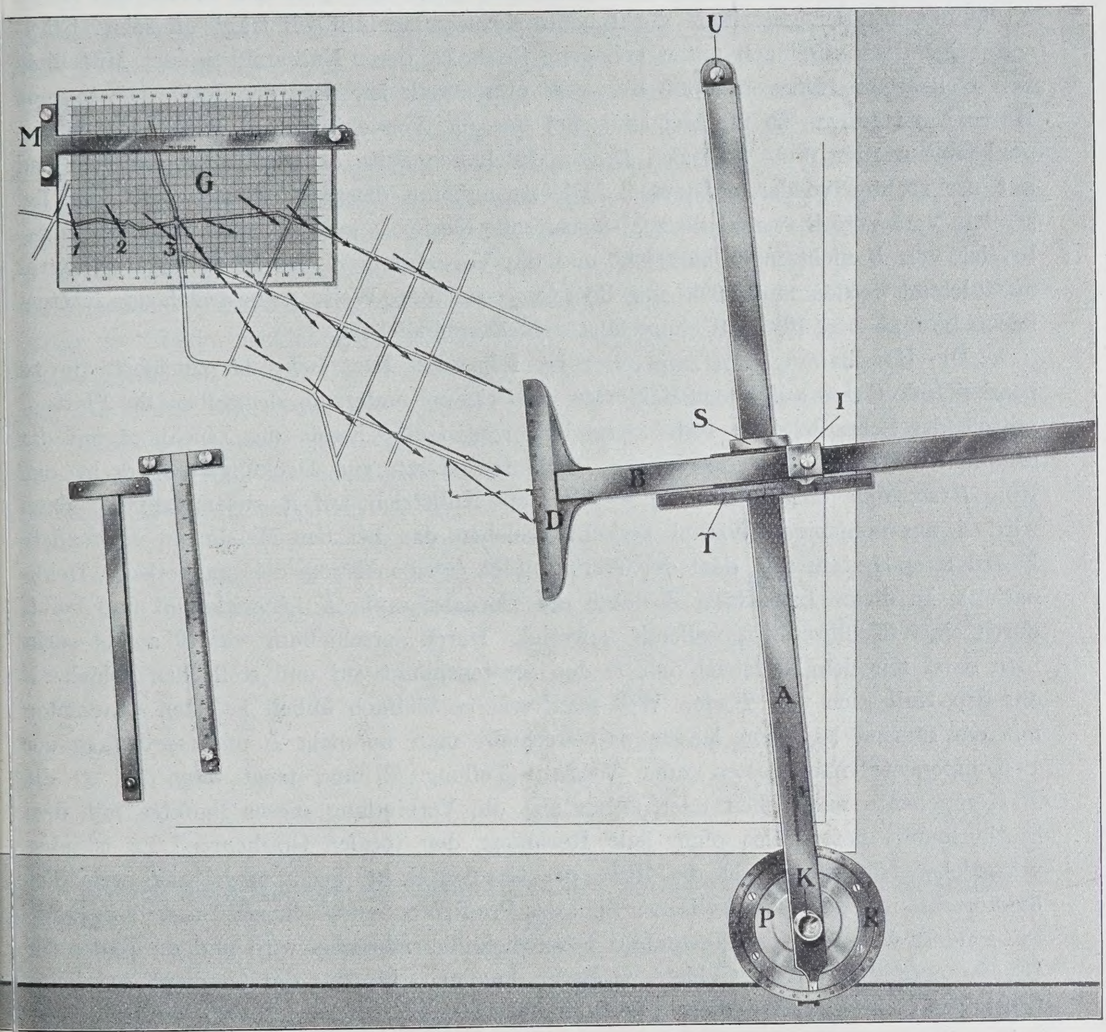
Dr. **C. Heiland** in Berlin.

Bei geophysikalischen Untersuchungen, die vorwiegend praktische Zwecke verfolgen, erweist es sich häufig als notwendig oder zweckmäßig, die Messungsergebnisse in eine topographische Unterlage als Vektoren einzuzeichnen. Einer derartigen kartographischen Darstellung physikalischer Werte nach Größe und Richtung durch einen Pfeil können verschiedene Bedeutungen zukommen. Bei erdmagnetischen Messungen z. B. kann man auf diese Weise sowohl den totalen Gradienten der betreffenden Kräfte am Stationsort wie auch bei Beobachtung zweier aufeinander senkrechter Komponenten die resultierende Anomalie selbst als Vektor veranschaulichen, während bei Schweremessungen die letztgenannte Möglichkeit fortfällt und nur die Darstellung eines totalen Schwerkraftsgradienten üblich ist.

Wenn möglich, werden zwar die Messungsresultate meistens durch Linien gleicher Werte oder Linien gleicher Abweichung von einem Normalbetrage dargestellt. Indessen ist die Darstellungsweise durch Vektoren der vorgenannten Methode gegenüber keineswegs im Nachteil, sie wird ihr in manchen Fällen sogar überlegen sein, insofern als durch sie die Richtung und Größe der störenden Ursache besonders sinnfällig ver-

anschaulicht wird. Der Grund, weshalb sie relativ wenig Anwendung findet, dürfte zum Teil darin liegen, daß die Einzeichnung in topographische Unterlage etwas umständlich ist und geeignete Geräte hierzu fehlen.

Da dieser letzte Umstand sich besonders dann fühlbar macht, wenn die Eintragung einer großen Anzahl von Schwerkraftsgradienten in eine Karte schnell erfolgen soll, so habe ich vornehmlich zu diesem Zwecke von den Askania-Werken in Berlin-



Friedenau ein kleines Gerät anfertigen lassen, welches aber auch nach obigen Ausführungen eine Verwendung zur Darstellung erdmagnetischer Störungsvektoren und ganz allgemein eine Darstellung der Resultante zweier aufeinander senkrechten Komponenten in einem Koordinatensystem zuläßt, welches mit einem vorgegebenen System einen beliebigen Winkel bildet.

Die in Rede stehende Vorrichtung besteht in der Hauptsache aus zwei aufeinander senkrechten und gegeneinander verschiebbaren Linealen. Die längere Schiene, in der nebenstehenden Abbildung durch B bezeichnet, läßt sich sowohl in ihrer Längsrichtung als auch quer dazu vermittels des Schlittens S auf dem Lineal A hin und her schieben, welch letzteres auf der Platte P aufruht und um deren Zentrum drehbar ist. Die

Platte P ist auf einer Schraubzwinge befestigt, mit der die ganze Vorrichtung auf dem Reißbrett festgeklemmt wird. Die Oberseite der Scheibe P trägt einen gerändelten, mit Teilung von 0 bis 2 mal 180^0 versehenen, drehbaren Ring R. Auf dieser Teilung spielt ein Index des Lineals A, welches in seiner Stellung durch Anziehen der Kordelschraube K und Eindrücken eines Reißbrettstiftes bei U festgehalten wird. Die Verschiebung des Lineals B quer zu A ist mittels des auf B verschieb- und klemmbaren Indexes J an der Teilung T ablesbar, die von -60 bis $+60$ mm reicht und deren Nullpunkt mit der Mittellinie des Lineals A zusammenfällt. B trägt an seiner Stirnseite eine dachartig nach unten gebogene Skala D, deren Nullpunkt in der Mittellinie von B liegt und die von -60 bis $+60$ mm geteilt ist. Für den Fall, daß in eine Karte Eintragungen zu machen sind, bei der die Vorrichtung am linken Rande angeklemmt werden muß, läßt sich D von der linken Seite der Schiene B abziehen und auf der rechten wieder aufstecken. Die Ausnutzung dieser Möglichkeit ist dann besonders von Vorteil, wenn die zu bearbeitende Karte so groß ist, daß der Bewegungsbereich von B nicht mehr ausreicht und die Vorrichtung in der Mitte des Reißbrettes angeklemmt werden muß. Die mit dem Gerät auf diese Weise zu bestreichende Kartenfläche beträgt 2×2000 cm² (ungefähr 2 Meßtischblätter).

Die Handhabung des Apparates ist folgende: Man befestigt zunächst die zu bearbeitende Karte auf einem Reißbrett und klemmt unten an demselben die Platte P mittels der Schraubzwinge fest. Dann bringt man eine Kante des Lineals A mit der randlichen Meridianlinie oder einer Parallelen hierzu zur Deckung und dreht den Ring R so, daß der Index von A mit dem Nullstrich auf R zusammenfällt; dann wird A um denjenigen Winkel gedreht, welchen das bei den Messungen verwendete Koordinaten-System mit dem der Karte bildet (also meistens die magnetische Deklination). In dieser Lage wird A durch die Kordelschraube K festgeklemmt und bei U durch einen Reißbrettstift vollends befestigt. Durch Verschiebung von B auf A sucht man dann mit dem Nullstrich von D den Stationspunkt auf und stellt den Schieber J auf den Nullstrich von T ein. Will man, wie es vielfach üblich ist, den Gradienten mit der Station beginnen lassen, so verschiebt man nunmehr B um den Betrag der Y-Komponente nach Osten oder Westen (Teilung T) und trägt dann bei D die X-Komponente nach oben oder unten ab; die Verbindung dieses Punktes mit dem Stationspunkt liefert also ohne jede Rechnung den totalen Gradienten. Es ist aber vorzuziehen, die Station in die Mitte des Gradienten zu legen, nicht nur, weil dies die korrekte und dem physikalischen Sinn des Gradienten entsprechende Darstellungsweise ist, sondern weil auch das Kartenbild wesentlich übersichtlicher wird und die Enden der Gradientenpfeile nicht in Gebiete zu liegen kommen, für die der Gradient gar keine Gültigkeit mehr hat. Bei diesem Darstellungsverfahren ist dann jeweils die Hälfte der beiden Komponenten vom Stationspunkt aus in der geschilderten Weise nach beiden Richtungen hin abzutragen. Wie man sieht, erspart die Vorrichtung die bisher notwendige Anwendung von Millimeterpapier, setzt die hierbei leicht entstehenden Fehler wesentlich herab und ist auf jeder Kartenunterlage zu verwenden.

In derselben Weise wie bei den Schwerkraftsgradienten ist auch bei der Eintragung der Größe $R = \sqrt{\left(2 \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial^2 U}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 U}{\partial x^2}\right)^2}$ vorzugehen; dasselbe gilt von magnetischen Gradienten, horizontalen und totalen Störungsvektoren, welch letztere besonders bei profilmäßigen Darstellungen mit Vorteil Verwendung finden.

Um aus den Schweregradienten die relativen Schwerkraftsunterschiede der einzelnen Stationen gegeneinander abzuleiten, kann man sich einer Einrichtung bedienen,

die auf der linken Seite der Abbildung dargestellt ist. Das Prinzip dieser Berechnung besteht bekanntlich darin, daß die Projektionen der Gradienten auf die Verbindungslinie je zweier Stationen bestimmt, unter Annahme linearer Änderung der Schwerkraft gemittelt und mit dem Stationsabstand multipliziert werden. Die so schrittweise erhaltenen Schwerkraftsdifferenzen gegen einen bestimmt gewählten Ausgangswert dienen zur Konstruktion der Isogammen. Hierbei geht man unter Verwendung des abgebildeten Gerätes so vor, daß man einen beliebigen Horizontalstrich der in Quadratmillimeter geteilten Glasplatte *G* mit der Verbindungslinie der beiden Stationen, z. B. 1 und 2 zur Deckung bringt, wobei der Nullstrich der unteren Teilung mit der Ausgangsstation 1 zusammenfallen soll. Dann kann man nicht nur die Projektion des Gradienten von 1 auf die Verbindungslinie 1 bis 2 direkt ablesen, sondern auch die Entfernung der beiden Stationen. Um keine Umrechnung in Kilometer nötig zu machen, läuft auf der Glasplatte ein mit Kilometerteilung versehener Schieber *M*. Jedem Gerät werden 3 derartige Läufer beigegeben, und zwar für die Maßstäbe 1 : 10000, 1 : 25000 und 1 : 100000. Die Projektion der Gradienten der Station 2 auf die Verbindungslinie 1 bis 2 wird wie bei 1 erhalten, jedoch ist dann mit 2 der Nullstrich der oberen rückläufigen Teilung zur Deckung zu bringen. Voraussetzung hierbei ist natürlich, daß bei der Gradientendarstellung 1 mm $= 1.10^{-9}$ *CGS* ist. Zur Ableitung der Δg Werte sind dann die Projektionen der halben Gradienten zu addieren, in 10^{-8} Einheiten auszudrücken und mit der Stationsentfernung in Kilometer zu multiplizieren, woraus sich die Schwerkraftsdifferenz in Einheiten von 1.10^{-3} *CGS*, wie das Berechnungsschema zeigt, ergibt.

Station	Gr. 1	Gr. 2	Gr. 1 + 2 in 10^{-8}	Entf. in km	Δg in 10^{-3} *CGS*	
1						0
	3	6	0,9	0,270	0,24	
2						0,24
	8	11	1,9	0,271	0,51	
3						0,75
	12	12	2,4	0,195	0,47	
4						1,22

Ein bimetallisches Aktinometer mit Kompensationseinrichtung.

Von
Privatdozent Dr. **Leo Wenzel Pollak** in Prag.

Die bisher in der Meteorologie gebräuchlichen bimetallischen Aktinometer nach Michelson-Marten sind nur sekundäre Instrumente. Sie benutzen eine bimetallische Lamelle, deren Verbiegung unter dem Einfluß der Strahlung, etwa der Sonne, mit einem Mikroskop gemessen wird. Es gibt keine Möglichkeit, direkt festzustellen, ob sich nicht der Proportionalitätsfaktor zwischen Erwärmung und Verbiegung geändert hat. Da die bimetallische Lamelle namentlich auf Transporten unkontrollierbaren Einflüssen ausgesetzt ist, muß die Eichung von Zeit zu Zeit nach einem Standard-Instrument vorgenommen werden. Wenn ein solches nicht vorhanden ist, ist man ganz auf die Beständigkeit des Eichfaktors angewiesen.

Diesem Mangel hilft das im folgenden skizzierte Instrument ab. Die Lamelle des neuen bimetallischen Aktinometers ist in der Mitte teilweise geschlitzt, so daß sie eine *u*-förmige Gestalt erhält. Die Enden der Lamelle führen zu Klemmschrauben Man ist also in der Lage, einen elektrischen Strom durch die bimetallische Lamelle zu.

schicken, und die durch die Sonnenstrahlung hervorgerufene Verbiegung der Lamelle mit der durch einen gemessenen elektrischen Strom erzeugten zu vergleichen. Dadurch wird es möglich, jederzeit — auch in der Nacht — und beliebig oft die Eichung oder die Kontrolle des Eichfaktors in der einfachsten Weise ohne Zuhilfenahme eines Standard-Instrumentes zu wiederholen.

Durch Verwendung zweier nebeneinanderliegender oder entsprechend kombinierter derartiger heizbarer Lamellen (Schlingen) läßt sich erreichen, daß gleichzeitig die Verbiegung der einen Schlinge durch die Sonnenstrahlung und der anderen Schlinge durch den elektrischen Strom beobachtet bzw. kompensiert wird. Selbst bei dieser Anordnung, die unter Umständen statt der früher geschilderten einfachen erwünscht sein kann, wird dem Angströmschen Kompensationspyrheliometer gegenüber, dem sie an Genauigkeit nicht nachstehen müßte, ein Galvanometer erspart.

Das Instrument verdankt seine Entstehung den Vorbereitungen zu einer größeren Seereise, auf der Sonnenstrahlungsmessungen geplant sind. Für diesen Zweck wurden noch einige andere kleine Neuerungen angebracht, von denen nur das Einstellokular genannt sei, welches gestattet, die bimetallische Lamelle verläßlicher als bis jetzt und vor allem auf den schwankenden Schiffsplanken senkrecht zu den auffallenden Strahlen zu stellen. Bei diesem neuen Okular wird ein Teil der auffallenden Strahlung als Lichtpunkt ins Okular geworfen und erscheint gleichzeitig mit der Skala und dem Bilde des Lamellenzeigers im Okular. Das Senkrechtstellen der Lamelle erfolgt dadurch, daß dieser Lichtpunkt mit einer im Okular befindlichen Marke zur Deckung gebracht wird. Der Beobachter ist also nicht mehr genötigt, das Auge vom Okular zu entfernen, um die bestrahlte bimetallische Lamelle gegen die Sonnenstrahlen richtig zu orientieren.

Über die mit diesem Instrumente gemachten Erfahrungen wird später berichtet werden.

Referate.

Die Methoden der „Kurzzeitmessung“ beim Behmlot.

Zusammenfassender Bericht von A. Werner in Charlottenburg.

Quellen: A. Behm, *Annal. d. Hydrogr. 1922, Heft 11.* — Schubart, *Die Umschau 1923, Heft 35.* — Brennecke, *Die Naturwissenschaften 1923, Heft 9.* — B. Schulz, *Annal. d. Hydrogr. 1924, Heft 11 u. 12.*

Die von Behm entwickelten Methoden, auf akustischem Wege Lotungen über allen Meerestiefen auszuführen, beruhen auf Messung der Zeit, welche der durch eine Detonation erzeugte Schall gebraucht, um von der Wasseroberfläche bis zum Meeresgrunde und zurück zu gelangen. Diese nach Überwindung erheblicher Schwierigkeiten zu sehr bemerkenswerten Ergebnissen führende Methode wurde zunächst als „Echolot“, späterhin in Analogie zu ähnlichen Wortbildungen als Behmlot bezeichnet. Die Tatsache, daß nunmehr im Ausbau der Apparatur und deren praktischer Erprobung ein gewisser Abschluß erreicht ist, hat Herr Dr. Schulz von der deutschen Seewarte zum Anlaß genommen, in einer „Geschichte und Stand der Entwicklung des Behmlots“ betitelten interessanten Abhandlung das bis dahin Erreichte niederzulegen. Da aber nicht nur nautische und mit der Meereskunde sich befassende wissenschaftliche Kreise, vielmehr fast jeder Physiker, Physiologe oder Ballistiker an dem Kernpunkt des Problems, der „Kurzzeitmessung“, interessiert ist, soll vorwiegend über diesen Punkt auch an dieser Stelle berichtet werden.

Eine Echolotanlage besteht in ihren wesentlichen Teilen aus dem Geber, einem direkten Schallempfänger, einem Echoempfänger und dem auf der Brücke oder im Kartenhaus des Schiffes aufgestellten Anzeigeapparat, der die Zeitdifferenz zwischen Schall und Echo mißt. Der in die Bord-

wand eingebaute Geber betätigt ein Knallsignal, dadurch hervorgerufen, daß eine auf elektrischem Wege vom Kartenhaus aus zur Zündung gebrachte Patrone abgeschossen und mittels Zeitzünders dicht unter der Wasseroberfläche zur Explosion gebracht wird. Der Abgangsempfänger besteht aus einem Mikrophon und nimmt den direkten Knall der Patrone auf. Er ist unter Wasser an der-

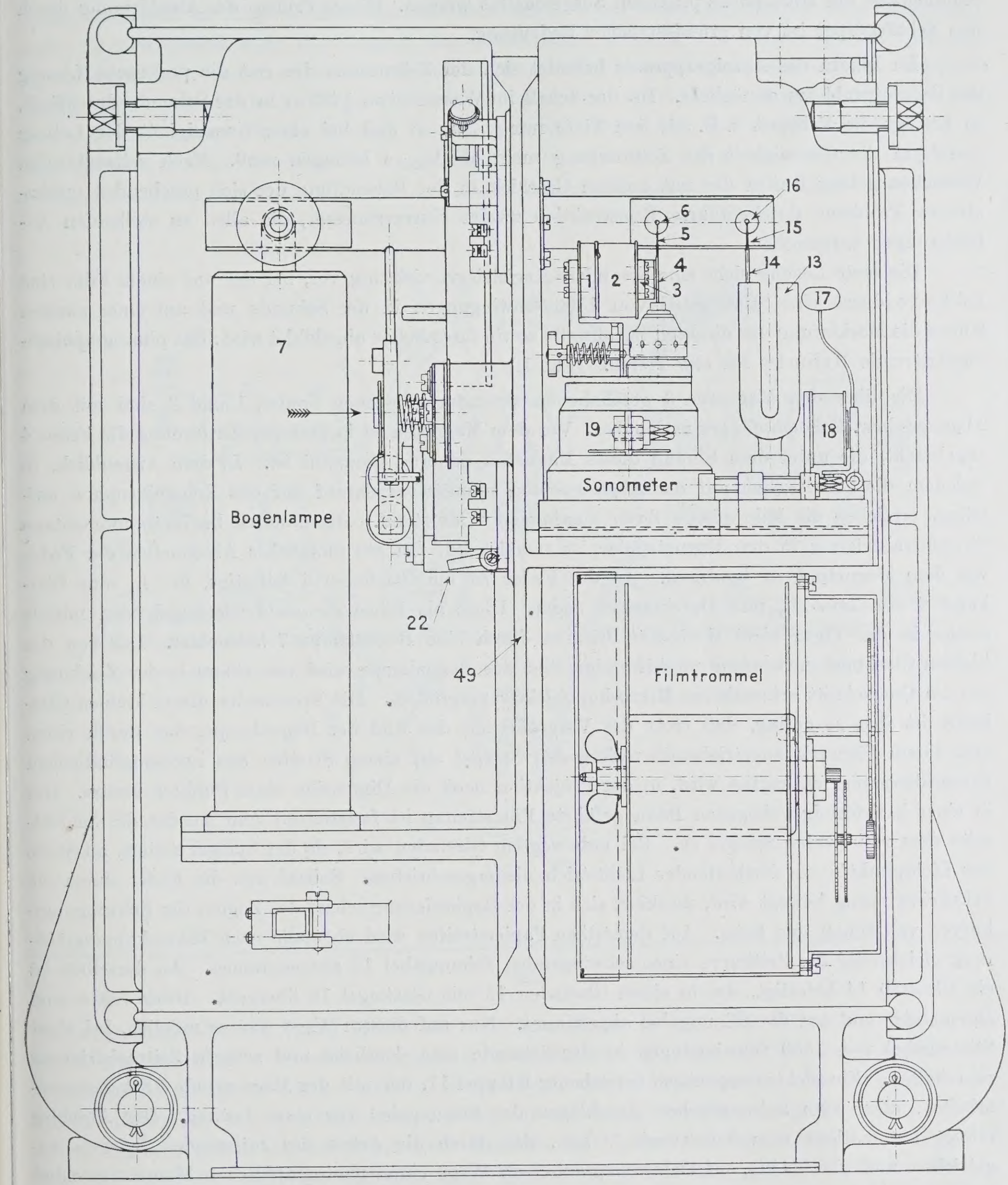


Fig. 1.

selben Schiffsseite, an welcher der Knall erzeugt wird, angebracht und durch ein Kabel mit dem Anzeigeapparat verbunden. Der Echoempfänger, ebenfalls ein Mikrophon und mit dem Anzeigeapparat verbunden, ist in gleicher Tiefe unter Wasser im Schiffsinnern auf die Bordwand aufgesetzt, aber auf der entgegengesetzten Schiffsseite. Durch diese Anordnung der Schallempfänger ist eine direkte Einwirkung des Knallsignals auf den Echoempfänger vermieden worden. Die Schallwellen können nämlich letzteren nur um den trennenden Schiffskörper herum auf dem Wege der Beugung

erreichen, womit eine außerordentliche Schwächung verbunden ist, während die vom Grund reflektierten Schallwellen ohne Beugung zum Echoempfänger gelangen können. Die auf dem Wege der Beugung ebenso wie die durch Eisenleitung ankommende und vom Echomikrophon aufgenommene geringe Schallenergie kann, um Störungen zu vermeiden, zudem durch geeignete Wahl der Empfindlichkeit des Mikrophons praktisch ausgeschaltet werden. Dieses Prinzip der Abschirmung durch den Schiffskörper ist von grundsätzlicher Bedeutung.

Im Innern des Anzeigeapparats befindet sich der Zeitmesser, der erst die praktische Lösung des Echolotproblems ermöglicht. Da der Schall im Wasser etwa 1435 m in der Sekunde durchläuft, so beträgt die Echozeit z. B. für 5 m Tiefe nur $^1/_{140}$ s, so daß bei einer Genauigkeit der Lotung von $^1/_4$ m die Genauigkeit der Zeitmessung mehr als $^1/_{3000}$ s betragen muß. Nach zeitraubenden Versuchen gelang Behm die mit großem Geschick in der Behandlung der sich ergebenden mechanischen Probleme durchgeführte Konstruktion zweier Kurzzeitmesser, die allen zu stellenden Anforderungen entsprechen.

Die erste Lösung sieht eine besondere Registriervorrichtung vor, bei der auf einem Film eine Zeitkurve durch eine Stimmgabel von 1500 Schwingungen in der Sekunde und auf einer zweiten Kurve die Markierung der direkten Schallwelle sowie ihres Echos abgebildet wird: das photographisch-registrierende Behmlot für alle Tiefen. (Fig. 1.)

Die über den Magneten 3 geschobenen stromdurchflossenen Spulen 1 und 2 sind mit dem Abgangs- bzw. Echoempfänger verbunden. Vor dem Magneten ist in geringer Entfernung die Feder 4 angebracht, die unter dem Einfluß dieses Magneten dauernd gespannt ist. In dem Augenblick, in welchem die Schallwellen auf das Abgangs- und unmittelbar darauf auf das Echomikrophon auffallen, erreichen die Mikrophone ihren maximalen Widerstand. Die dadurch bedingte momentane Stromherabsetzung in den Magnetspulen ist ausreichend, um ein plötzliches Abschnellen der Feder von dem Magnetpol zu bewirken. An der Feder ist ein Glasfaden 5 befestigt, der in eine Glaskugel 6 von etwa $^2/_{10}$ mm Durchmesser endet. Diese als Linse dienende Glaskugel wird mittels zweier in der Figur nicht sichtbarer Prismen durch eine Bogenlampe 7 beleuchtet. Das von der kleinen Glaskugel entworfene punktförmige Bild der Bogenlampe wird von einem in der Zeichnung nur im Querschnitt erkennbaren Mikroskopobjektiv vergrößert. Die Brennweite dieser kleinen Glaskugel ist aber so gering, daß trotz der Vergrößerung das Bild der Bogenlampe, das durch einen von einem Uhrwerk angetriebenen rotierenden Spiegel auf einem Streifen aus hochempfindlichem Bromsilberpapier entworfen wird, in der Projektion noch die Dimension eines Punktes besitzt. Der in einer kreisförmig gebogenen Bahn geführte Filmstreifen ist feststehend und wendet die Schichtseite dem rotierenden Spiegel zu. Bei unbewegtem Glasfaden wird, da der Spiegel rotiert, an Stelle des Lichtpunktes ein fortlaufender Lichtstrich niedergeschrieben. Sobald nun die Feder durch die Schalleinwirkung bewegt wird, markiert sich in der Registrierung scharf der Beginn der Schwingungskurven von Schall und Echo. Auf demselben Papierstreifen wird ebenfalls nach Mikroskopvergrößerung gleichzeitig die Zeitkurve einer schwingenden Stimmgabel 13 aufgenommen. An derselben ist ein Glasstab 14 befestigt, der in einen Glasfaden 15 mit Glaskugel 16 übergeht. Beide Stäbe sind aufeinander und auf die Stimmgabel abgestimmt. Nur auf diesem Wege war es möglich, bei einer Stimmgabel von 1500 Schwingungen in der Sekunde eine deutliche und scharfe Zeitregistrierung zu erhalten. Ein elektromagnetisch betriebener Klöppel 17, der mit der Magnetspule 18 zusammenarbeitet, dient zum automatischen Anschlagen der Stimmgabel vor einer Lotung. Der Anschlag erfolgt automatisch vom Schaltwerk 22 aus, das durch die Achse des rotierenden Spiegels angetrieben und gleichzeitig auf elektromagnetischem Wege einen photographischen Momentverschluß bedient, um den Film im richtigen Augenblick beleuchten zu können. Eine Anzahl von Rollen sorgt für die Führung und den Transport des belichteten Films durch die licht- und flüssigkeitsdichte Entwicklungskassette und das Fixierbad. Das in etwa 5 Sekunden fertiggestellte Photogramm läßt dann, da außer Uhrzeit und Datum eine Tiefenmeterteilung mitphotographiert werden kann, das Lotergebnis unmittelbar erkennen; genauere Werte liefert allerdings die Benutzung der Zeitkurve. Das beschriebene Instrument mit rotierendem Spiegel gestattet die Feststellung von Tiefen bis zu etwa 1000 m, für die Messung größerer Tiefen dient ein bordbrauchbarer Apparat mit bewegtem Film.

Der Wunsch, ein in der Handhabung noch einfacheres und schneller arbeitendes Instrument zur Tiefenbestimmung zu erhalten, führte dann zu weiteren Versuchen, die Echozeit auf eine andere Weise exakt zu messen, und schließlich zur Konstruktion des sehr sinnreichen „Behmzeitmessers".

Eine genau ausbalanzierte Scheibe 3 (s. Fig. 2), die von einer in Rubinen gelagerten Achse durchsetzt ist, trägt an einer Speiche einen Anker 4, der unter dem Einfluß eines Magneten 1 steht. Bei Stromfluß zieht der Magnet den Anker unter Drehung der Scheibe so an, daß eine Abschnellfeder 5 durch eine Achatkugel, die an der Scheibe befestigt ist, gespannt wird. Dadurch wird bewirkt, daß, sobald der Magnet stromlos gemacht wird, die Feder die Kugel nach oben drückt und der Scheibe eine schnelle Drehung nach rechts gibt. Neben der rechten Seite der Scheibe, die dort gezahnt ist, befindet sich ein zweiter Magnet 2, an dessen Anker eine an einer Blattfeder

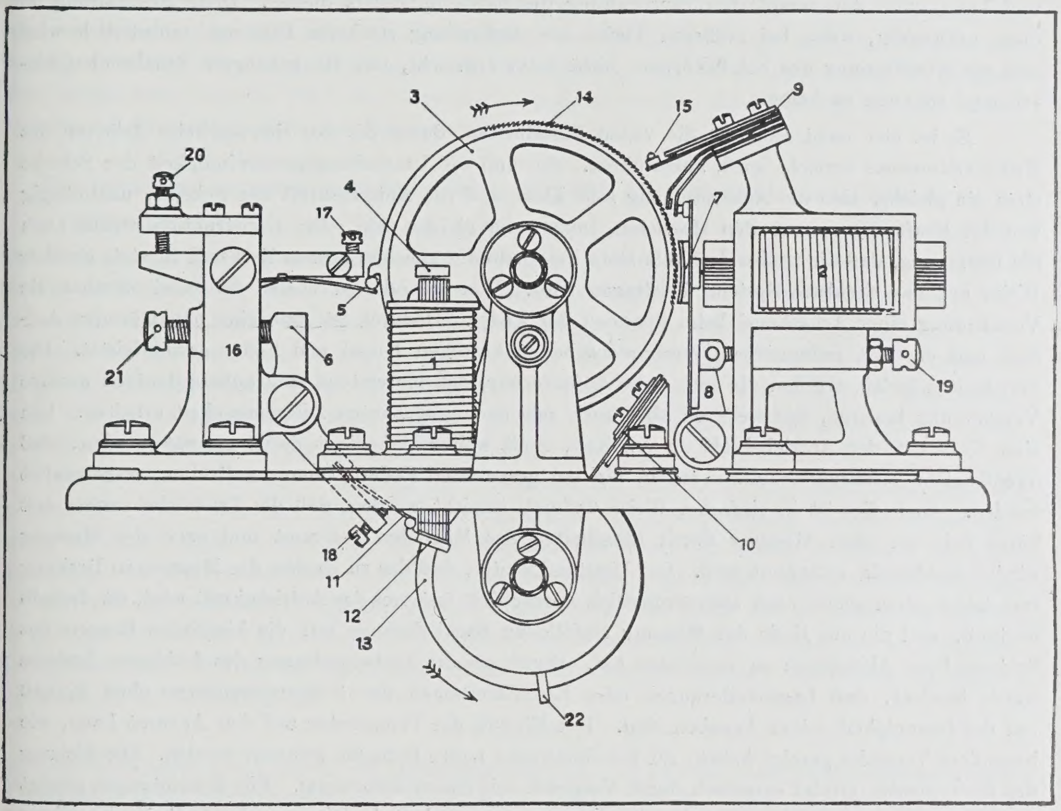


Fig. 2.

befestigte Backenbremse 7 angebracht ist. Die Bremsfeder ist an einem Hebel 8 befestigt, der durch eine Schraube 19 in seiner Einstellung festgehalten wird. Die am Bremsbock angebrachten Kontaktpaare 9 und 15 dienen sekundären Zwecken, nämlich zur Anzeige eines vorzeitigen Ausfallens der Bremse bzw. zur Begrenzung der Winkelverdrehung. Solange dieser Magnet unter Strom steht, liegt der Anker mit der Bremse am Magneten fest, sobald er aber stromlos gemacht wird, hebt die Feder den Anker ab und drückt die Bremsbacke gegen den gezahnten Teil der Scheibe. Die Scheibe wird festgestellt. Die Achse der Scheibe trägt zwei leichte, hier nicht sichtbare Spiegel, die das Licht einer Glühlampe auf eine Doppelskala werfen und die Winkelverdrehung der Scheibe, die in einem bestimmten Verhältnis zu der Zeit steht, die zwischen dem Stromlosmachen des ersten und zweiten Magneten liegt, durch einen feinen Lichtstrich auf der Skala kenntlich machen. Eine schwache Unruhspirale sorgt dafür, daß der Lichtzeiger in der Ausgangsstellung auf Null steht. Beim Loslassen der Scheibe durcheilt der Lichtreflex des einen Spiegels die obere Reihe der Doppelskala z. B. von 0 bis 60, dann erscheint der Reflex des zweiten Spiegels, der etwas anders gelagert ist, auf der unteren Reihe wieder bei 60 und endet mit der Zahl 120.

Neben der Abschnellfeder 5 ist an dem Federbock 16 noch der durch eine Schraube 21 verstellbare Hebel 6 angeordnet, der eine zweite Abschnellfeder 11 trägt, die, ebenso wie die Abschnellfeder 5 durch die Schraube 17, durch eine Schraube 18 in ihrer Schwingungsweite einstellbar begrenzt ist. Die beiden Federn werden durch die Schrauben 20 und 21 begrenzt und festgestellt. Die Abschnellfeder 11 dient als Antrieb für das Kontrollrad 13 mit dem Anker 12, das, von demselben Magneten ausgelöst, gleichzeitig mit dem eigentlichen Kurzzeitmesserrad in Bewegung gesetzt wird und das dazu dient, eintretende Betriebsstörungen in der Anlage sofort aufdecken zu können. Die umlaufende Scheibe des Kontrollrades verdreht jedoch keine Spiegel, sondern öffnet nacheinander zwei Kontakte und mißt dadurch ein gewisses Zeitintervall. Die auf dem Kontrollrad angebrachte Nase 22 öffnet nach Vollendung einer bestimmten Winkelverdrehung den Kontakt 10 und kann dann der verspäteten Einschaltung des Echoempfängers dienen. Diese Abschaltung ist dann notwendig, wenn bei größeren Tiefen die Anwendung stärkerer Patronen erforderlich wird und die Abschirmung des Schiffskörpers nicht mehr ausreicht, um die gebeugten Schallwellen hinreichend schwach zu halten.

Es ist hier nicht möglich, die vielen Einzelheiten, durch die ein einwandfreies Arbeiten des Behmzeitmessers erreicht wird, aufzuführen. So muß die Umdrehungsgeschwindigkeit der Scheibe stets die gleiche, also die Achsenreibung sehr klein und die Antriebskraft der Scheibe, unabhängig von der Kraft des spannenden Magneten, immer die gleiche sein. Die Konstruktion erfüllt auch die Bedingung, daß die treibende Kraft stets innerhalb der gleichen kurzen Zeit und in stets gleicher Weise auf das drehbare System übertragen wird. Von besonderem Vorteil ist dabei offenbar die Verwendung einer Achatkugel beim Spannen der Feder. Dadurch ist stets eine punktförmige Auflage und ein fast reibungsloses Zusammenarbeiten zwischen Kugel und Feder gewährleistet. Die verwandten Relais erfüllen die sehr hohe Anforderung, daß sie erstens eine außerordentlich geringe Verzögerung besitzen, des weiteren aber auch mit einer ungeahnten Zeitgenauigkeit arbeiten. Um eine Konstanz der Antriebskraft zu erhalten, muß weiter unbedingt dafür gesorgt werden, daß irgendwelche elastische Nachwirkungen, die bei gespannten Federn immer auftreten, ausgeschaltet werden. Auch dies ist in einfacher Weise dadurch erreicht worden, daß die Triebfeder immer erst kurze Zeit vor einer Messung durch Einschalten des Magneten gespannt und nach der Messung wieder vollständig entspannt wird. Der Umstand weiter, daß das zu Beginn der Messung in Drehung versetzte System schon nach außerordentlich kurzer Zeit frei von der Antriebskraft wird, ist deshalb wertvoll, weil die am Ende der Messung einfallende Backenbremse nur die kinetische Energie des Systems beim Abbremsen zu vernichten hat. Durch genaue Ausbalanzierung des drehbaren Systems wurde bewirkt, daß Lagenänderungen oder Erschütterungen des Behmzeitmessers ohne Einfluß auf die Genauigkeit seiner Angaben sind. Der Einfluß der Temperatur auf den Apparat kann, wie besondere Versuche gezeigt haben, für Echolotzwecke außer Betracht gelassen werden. Die Eichung des Instrumentes erfolgt empirisch durch Vergleich mit einem Zeitnormal. Für Echolotungen genügt es, die Eichung der Skala mit Hilfe der Schallgeschwindigkeit in Wasser oder Luft in der Weise vorzunehmen, daß man zwei Mikrophone von bekanntem Abstand zur In- und Außergangsetzung des Zeitmessers benutzt. Die Teilung der Skala verläuft fast linear und beginnt an dem Punkt, an dem das drehbare System von der treibenden Federkraft frei wird. Dieser Punkt liegt zeitlich bei etwa 0,0004 s nach Ingangsetzung des Systems. Während der gesamten, nur etwa 90^0 betragenden Winkelverdrehung nimmt die Winkelgeschwindigkeit nur ganz unerheblich ab, so daß der Verlauf der Eichkurve nach erfolgter Ausgleichung praktisch linear bleibt.

Der größte Zeitwert, den die beschriebene Konstruktion dieses Zeitmessers noch zu messen gestattet, liegt bei etwa $^1/_5$ s, entsprechend einer Tiefe von 150 m. Bei diesem Meßbereich beträgt der Skalenwert für 1 m noch 4 bis 5 mm, so daß eine Ablesung auf $^1/_4$ m gut möglich ist. Eine kürzlich von der Torpedo- und Mineninspektion in Kiel vorgenommene Eichung eines Behmzeitmessers mittels des Helmholtz-Pendels, bei dem elektrische Kontakte zeitgenau unterbrochen werden, ergab als größte Abweichung in den Angaben des Instruments den Wert $3{,}6 \cdot 10^{-4}$ s, entsprechend 25 cm Wassertiefe. Die Genauigkeit, mit welcher der Zeitmesser bei Wiederholungen arbeitet, ist erstaunlich. Kurz aufeinander folgende Messungen, die durch keine Temperaturänderungen beeinflußt sind, stimmen nicht selten bis auf 0,00001 s überein.

Bei neueren Konstruktionen des Behmzeitmessers besteht das Zeitmesserrad, das von einem ringsum gezahnten Metallrand eingefaßt wird, aus Glas und ist auf seinem ganzen Umfange in Grade eingeteilt und beziffert. Um die Winkelverdrehung ablesen zu können, wird die Glasradteilung auf die Mattscheibe des Instruments projiziert. Die Anordnung der Teile ist dabei so getroffen, daß die vollen Winkelverdrehungen von 360° ablesbar sind, so daß die Reichweite des Apparates sich bei einmaliger Umdrehung auf etwa 750 m Wassertiefe erhöht, während bei mehreren Umdrehungen des Rades auch größte Tiefen erlotet werden können.

Die sehr beachtenswerten Ergebnisse des Behmschen Echolotes, die sich vor allem auf die mit ungewöhnlichem Geschick ausgebildeten Methoden der Zeitmessung gründen, eröffnen weiter vielversprechende Ausblicke für die Erforschung des Reliefs der Tiefsee, aber auch andere Anwendungsmöglichkeiten liegen durchaus im Bereich der Möglichkeit; so die Ermittlung des Verlaufs bestimmter Schichten im Erdboden, wie Kohlenflöze oder Salzlager, die ein anderes Schalleitungsvermögen besitzen als die darüber lagernden Erdschichten. Mit Erfolg sind bereits in jüngster Zeit, zuletzt vom Zeppelin ZR 3 aus, Versuche ausgeführt worden, die Erhebung des Luftschiffes über dem Erdboden mit Hilfe des Echolotes zu bestimmen.

Ein weiterer amerikanischer Vorschlag für die Tachymeterablesungen.

Nachdem seit kurzem der „*Beaman-Arc*“ für die Ausstattung des Tachymetertheodolits in den Vereinigten Staaten rasch ziemlich weite Verbreitung gefunden hat, während er bei uns, meiner Ansicht nach mit Recht, kaum beachtet worden ist (— ich habe auch in *dieser Zeitschr.* wie in der *Zeitschr. f. Vermw.* darüber berichtet —) kommt aus Amerika ein neuer Vorschlag ähnlicher Art, und zwar von Keuffel und Esser, New-York (*Serial* 1211 dieser an sich sehr guten Werkstätte für geodätische Instrumente[1]), der „K and E Stadia Circle“. Es sollen der Angabe der Einrichtung einige Worte vorausgeschickt werden; aber ich möchte gleich hier die Hoffnung aussprechen, daß auch diesem Vorschlag bei uns keine Folge gegeben werde.

Sieht man ab von der Festlegung der horizontalen Richtung nach einem tachymetrisch zu messenden Punkt, die bei allen Tachymeterkonstruktionen dieselbe bleibt, nämlich in der Ablesung an einem Lagekreis oder einer Bussole des Instruments oder im Ziehen des Strahls auf dem horizontalen Meßtischzeichenbrett an der Linealkante der Kippregel besteht, so sind zur Bestimmung der zwei weitern notwendigen Stücke: Horizontalentfernung und Höhe des zu messenden Punkts bei der „gewöhnlichen“ Tachymetrie zwei weitere Ablesungen notwendig, nämlich eine an der Latte (Lattenabschnitt l) und ein am Instrument (Höhenwinkel α am Höhenkreis). Aus beiden ergibt sich auf bekannte Art mit Hilfe von

$$E = c + k \cdot l$$

die Horizontaldistanz $e = E \cdot \cos^2 \alpha$, der Höhenunterschied $h = E \cdot \frac{1}{2} \sin 2\alpha$. Jene zwei Ablesungen sind in besondern Tachymeterkonstruktionen durch andere Ablesungen oder durch Einstellungen u. ä. ersetzt, besonders bei Konstruktionen, die die Rechnung von e und von h teilweise oder ganz durch das Instrument selbst ausführen lassen sollen. So werden z. B. bei dem Hammer-Fennelschen Tachymeter statt l und α zwei Lattenabschnitte l_1 und l_2 abgelesen und kein α (ich betrachte gerade diese gleichartigen Ablesungen im Fernrohrgesichtsfeld als einen nicht unbeträchtlichen Vorzug unseres Instruments), aus denen man mit Hilfe von $C_1 = 100$ und $C_2 = 20$ nach

$$e = 100 \cdot l_1 \qquad \text{und} \qquad h = 20 \cdot l_2$$

die gesuchten Stücke ohne Tafel und ohne Rechnung erhält. Beim Wagner-Fennelschen Tachymeter, einem der s. g. Schiebetachymeter, wird ebenfalls kein α abgelesen, es ist aber nach Ablesung von l die Einstellung eines Läufers an der Fernrohr-Hauptschiene zu machen, worauf e und h (oder auch gleich H) ebenfalls ohne Rechnung an zwei weitern Schienen abgelesen werden können.

Ohne auf die Einrichtung weiterer „selbstrechnender“ Tachymeter einzugehen, wird das An-

[1]) Es ist auffallend, wie zahlreich unter den leistungsfähigen amerikanischen geodätischen Werkstätten deutsche Namen sich finden: man denke nur an Berger, Buff, Beckmann, Brandis, Keuffel und Esser, Lietz und viele andere, im Vergleich mit denen selbst große Firmen mit amerikanischen Namen wie Ainsworth (Denver), Gurley u. a. ziemlich zurücktreten.

geführte genügen zu zeigen, daß der „K and E Stadia Circle“ nicht einmal für die „gewöhnliche“ Tachymetrie mit dem „Kreistachymeter“ eine Vereinfachung bringen kann. Denn es sind bei ihm drei Ablesungen zu machen, wir wollen sie l (Lattenabschnitt), c' und c'' (am Vertikalkreis) nennen. Die Ablesung des Höhenwinkels α fällt also freilich hier auch weg wie bei den vorhin angeführten Beispielen „selbstrechnender“ Tachymeter; aber die Ablesungen c' (an der linken Ablesestelle des Vertikalkreises) und c'' (rechts) sind nichtrunde Zahlen, wie auch die l an der Latte nichtrunde Zahlen sind; die „two simple multiplications“,

$$e = c' \cdot l \qquad \text{und} \qquad h = c'' \cdot l,$$

die den Gebrauch von „Stadia Reduction Tables“ oder Diagrammen usf. entbehrlich machen, sind also gar nicht bequem auszuführen und bringen jenen bekannten einfachen Hilfsmitteln mit E und α als Argumenten gegenüber alles eher als eine Vereinfachung der Rechnnng. Und da auch keine Erleichterung in den Ablesungen im Vergleich mit der gebräuchlichsten Tachymetereinrichtung vorhanden ist, so glaube ich nicht, daß der „K and E Stadia Circle“ sich auch bei uns Eingang verschaffen könne. *Hammer.*

Eine bisher wenig bekannte Kopie der Peru-Toise vom Jahre 1762.

Von Max Schmidt. *Sitzungsber. der Bayrischen Akad. d. Wiss. vom 10. Mai 1924.*

Von Canivet sind auf Veranlassung Ludwig XV. 80 Kopien der Peru-Toise hergestellt worden, aber nach den Angaben von C. W. F. Peters ist keine davon mit Sicherheit erhalten. Die vorliegende Kopie ist aber zweifelsfrei eine Toise und stammt aus den Sammlungen der Bayrischen Akademie der Wissenschaften. Sie ist ein Doppelstab in der Form der Peru-Toise aus Schmiedeeisen und besteht aus dem in Fuß eingeteilten Hauptstab und dem Muttermaßstab in Form einer Rachenlehre, die den Hauptmaßstab an seinen Enden umfaßt. Bei der Normaltemperatur der Toise von 16,25° C ergaben besondere Messungen die Entfernung der Endstriche zu 1,94913 m und der in den Endstrichen angebrachten feinen Punkte zu 1,94909 m. Setzt man nach Albrecht an, daß 1 Toise-1,94906 m ist, so ist eine sehr gute Übereinstimmung der Meßergebnisse mit den Sollwert erzielt. Die Genauigkeit der Messungen ist auf einige Hundertstel Millimeter anzunehmen. *Block.*

Eine römische Groma.

Da diese Zeitschrift dankenswerter Weise sich auch der Geschichte der Instrumente nicht verschließt, sei hier eine Notiz über eine jüngst aufgefundene Groma (Stella, Visierkreuz), wie sie die römischen Agrimensoren verwendet haben, aufgenommen. Ich muß dabei freilich wünschen, daß diese Notiz nach Bedarf vervollständigt würde durch jemand, dem die Originalveröffentlichung[1]) zugänglich ist, da ich nur aus Quellen zweiter Hand schöpfen kann[2]).

Römische Rechtwinkelinstrumente, aus durch je zwei Lotfäden gebildeten und senkrecht zueinander liegenden Vertikalebenen hergestellt, sind uns z. T. aus Abbildungen (u. a. Grabdenkmal eines römischen Landmessers bei Ivrea), z. T. aus Instrumentfunden (u. a. am rhätischen Limes bei Eichstätt in Bayern) bekannt geworden. Sicher viel älter als das Eichstätter Instrument ist nun aber das vor ganz kurzer Zeit bei den Ausgrabungen in Pompeji gefundene; es lag in Stücken und Stückchen von Bronze und Eisen im Haus des Mechanikers und wohl auch Landmessers Verus in der „Abbondanza-Straße“, in der schon so viele wertvolle Entdeckungen zum antiken Leben und Arbeiten gemacht worden sind. Mit vieler Mühe gelang es dem Leiter der Ausgrabungen, Professor Matteo Della Corte, aus den vielen einzelnen Resten und Stückchen mit guter Sicherheit die Groma in der Form zusammenzusetzen, die sie zur Zeit der Verschüttung Pompejis (—79, also im zeitlich ersten Viertel des letzten Jahrhunderts vor Beginn unserer Zeitrechnung) hatte.

Danach bestand das Instrument aus einem starken Stativstock mit vierkantigem Bodenspatel, auf dessen Kopfe ein Zapfen die eine Öse eines starken Holzarms aufnahm, um dessen anderes

---

[1]) Dies ist die in den „*Mon. ant. d. Accad. dei Lincei*“ 1922, Rom, von Prof. Della Corte veröffentlichte Abhandlung, die ich mir trotz aller Bemühungen nicht durch italienische Gelehrte verschaffen konnte.

[2]) U. a. aus einem Artikel, den der Gesandte Italiens in den Vereinigten Staaten von Amerika, Don G. Caetani, in der „Engineering and Mining Journal-Press“ hat erscheinen lassen.

Ende die ebenfalls mit Zapfen versehene Mitte der Kreuzarme des Sterns gedreht werden konnte An den Enden dieser vier verhältnismäßig leichten Kreuzarme hingen die Fäden der vier Bleilote herab, die nun paarweise die zwei Absehen des abzusteckenden rechten Winkels bildeten. Die Länge des erwähnten starken Holzarms, der die Verbindung zwischen dem Stativstock und dem Drehungspunkte der Kreuzarme herstellte, betrug rund etwa 25 cm; wurde also der Spatel des Stativstocks in dieser Entfernung vom Mittelpunkt des Grenzsteins oder Pflocks, über dem das Instrument zentrisch aufgestellt werden sollte, in den Boden getrieben, so konnte diese zentrische Lage des Schnittpunkts der Kreuzarme über der Mitte des Grenzsteins[1]) mit Leichtigkeit durch Drehen des Arms um den Zapfen hergestellt und durch Drehen des Armkreuzes der ersten Zielebene eine beliebige Richtung im horizontalen Sinn gegeben werden.

Die vier Arme des Visierkreuzes waren vom Kreuzungspunkt an je etwas über 40 cm lang, so daß die zwei Absehebenen je zweier Lotfäden (in 80—90 cm voneinander), windstilles Wetter vorausgesetzt, gute Genauigkeit im Einweisen der Absteckstäbe usw. gaben. Die Schriften der römischen Feldmesser (auch Vitruv, de Architectura) enthalten nichts darüber, wie etwa der rechte Winkel zwischen den beiden Visierebenen geprüft wurde; auch scheint an der Rekonstruktion der gefundenen Groma nicht erkennbar, ob etwa die Arme für den Transport abgenommen und bei Aufstellung des Instruments in die richtige Lage gebracht werden konnten.

Immerhin darf man sagen, daß über die Form des Rechtwinkelinstruments der römischen gromatici kein Zweifel mehr besteht, insbesondere ist die oft aufgeworfene Frage der Zentrierung über einem Stein erledigt; es ist auch anzunehmen, daß sich diese Form lange Zeit erhalten hat. Die Idee der Groma soll ja sogar etruskischen Ursprungs sein. Das Eichstätter Instrument weist allerdings schon auf ziemlich starke Veränderungen im Vergleich mit dem in Pompeji entdeckten hin.

Zusatz: Nachdem die vorstehende Notiz gesetzt war, bin ich durch Herrn Prof. Della Corte doch noch in Besitz des Auszugs gekommen, den er selbst aus seiner in den „*Monumenti antichi*" der *Accad. dei Lincei* (**28**, 1922) veröffentlichten Originalarbeit als „*Riassunto*" jener Monographie hergestellt und kürzlich im „*Eco degli Ingegneri e periti Agrimensori*" (hrsg. von G. Giuntini; **30**; Pescia 1924, Nr. 11 ff.; S. A. 24 S. Gr.-8⁰; reich illustriert) hat erscheinen lassen. Ich möchte nicht unterlassen, auch hier Herrn Prof. Della Corte (und für freundliche Vermittlung auch Herrn Prof. Loperfido, Istituto geografico militare, Florenz) bestens zu danken.

Auf diesen „Riassunto" sei hier besonders deshalb aufmerksam gemacht, weil er im I. Abschnitt eine ziemlich eingehende Geschichte unserer Kenntnis der römischen Groma überhaupt bietet, der II. Abschnitt legt die lange mühevolle Arbeit des Verfassers dar, die eines besonders geschulten und glücklichen Blickes bedurfte, um aus den zahllosen Reststücken der pompejanischen Groma dieses Instrument mit so großer Sicherheit wieder zusammenzusetzen. Wer konnte z. B. die Metallschienen *E* und *F* des Verf. als Deckel- und Untenbeschlag des oben erwähnten Holzbügels erkennen, der den Bolzen des Stativstocks mit dem Bolzen des Armkreuzes verband?

Einschneidende Änderungen an der obenstehenden Notiz sind nach Kenntnisnahme des „Riassunto" nicht geboten. Erwähnt seien nur noch einige Einzelheiten: das Kreuz der nach außen sich verjüngenden vier Arme war fest, nicht zusammenlegbar; die gefundenen vier Lote, die außen anzuhängen waren, hatten paarweise verschiedene Form; der Körper des Stativstocks bestand aus Holz, an dem unten, in dem erwähnten Spatel endigend, und oben, als Halter des Bolzens, metallene Zwingen angebracht waren. Außer der Groma sind im Haus des Verus auch noch andere interessante Werkzeuge gefunden worden, z. B. ein römisches Fußmaß (297 mm), wie es von zahlreichen anderen Fundstellen bekannt ist. Die pompejanische Groma dagegen ist das einzige bis jetzt aufgefundene vollständige Exemplar des Rechtwinkelinstruments der römischen Agrimensoren. Hinzugefügt mag noch sein, daß Prof. Della Corte in ihrem Besitzer Verus den technischen Mitarbeiter des Kaiserlichen Kommissärs (Militärtribunen) Clemens vermutet, der in der letzten Zeit des Bestehens von Pompeji auf Befehl des Kaisers Vespasian eine Neumessung des ager pompejanus vorzunehmen hatte. *Hammer.*

---

[1]) Die Grenzsteine bei der Versteinung der römischen Steuervermessungen hatten z. T. runden, z. T. rechteckigen Querschnitt; vgl. z. B. Meys in *Zeitschr. f. Vermw.* ***54.*** *S. 62/63. 1925.*

Über ein neues Prinzip optischer Abbildung für Zwecke astronomischer Messungen.

Von H. J. Gramatzki. *Deutsche Opt. Wochenschr.* ***11.*** *S. 4. 1925.*

In einem Artikel in *dieser Zeitschr.* ***44.*** *S. 542. 1925*[1]) hatte ich über die interferometrischen Methoden zur Messung sehr kleiner Winkelabstände am Himmel berichtet. Es wurde dort gezeigt, wie man bei der Methode von Michelson durch Abänderung des normalen Beugungsbildes der Sterne den Messungsbereich gegenüber den gewöhnlichen Fernrohrbeobachtungen erweitern kann. In ganz anderer Weise als dort versucht Gramatzki das normale Fernrohrbild zu verändern und dadurch schärferer Messung zugänglich zu machen. Er geht von der Tatsache aus, daß wir Striche viel sicherer beobachten können als Punkte. Zwei Punkte können bestenfalls in 120″ scheinbarem Abstande, zwei Striche aber schon in 40″ Abstand getrennt gesehen werden, und eine Strichversetzung (Nonius) soll sogar im Betrage von nur 10″ bis 12″ erkennbar sein. Bestreben des Konstrukteurs ist es deswegen, das Sternbild in eine Lichtlinie auszuziehen. Dies wird das eine Mal dadurch erreicht, daß er eine Zylinderlinse in den Strahlengang einschaltet. Dadurch wird das Sternbild in ein Lichtband ausgezogen. Die Zylinderlinse ist im Positionswinkel drehbar. Außerdem wird in den Strahlengang eine planparallele Kalkspatplatte eingeschaltet, die ebenfalls, aber getrennt von der Zylinderlinse, im Positionswinkel drehbar ist. Durch diese entsteht von jedem Stern ein Doppelbild. Bei Drehung der Platte dreht sich das außerordentliche um das ordentliche Bild (Fig. 1). Hat man einen Doppelstern, so kann man durch Drehung der Platte das ordentliche Strichbild der einen Komponente mit dem außerordentlichen der anderen Komponente in eine Richtung, d. h. teilweise zur Deckung bringen. In Wirklichkeit macht man die Messung derart, daß man die entsprechenden Bilder von zwei verschiedenen Seiten dieser Stellung soweit nähert, daß gerade noch die Trennung der beiden Lichtlinien wahrgenommen wird (Fig. 2). Das Mittel aus beiden Ablesungen ist dann die Deckungs-Stellung. Bei seinem Spiegelteleskop von 6 Zoll = 15 cm Öffnung gibt Gramatzki die Grenze der Trennbarkeit zu 0,15″ an. Bei nicht mehr trennbaren Doppelsternen kann man durch Drehung der Zylinderlinse im Positionswinkel die Stelle der größten und kleinsten Breite des Lichtstreifens und den Breitenunterschied feststellen und damit Schlüsse auf Positionswinkel und Distanz ziehen (Fig. 3). Die Anwendung der Zylinderlinse bringt aber erhebliche Schwierigkeiten in der Reduktion mit sich, da hierdurch die Brennweite des Instrumentes geändert wird.

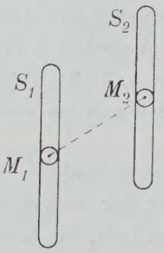


Fig. 1.

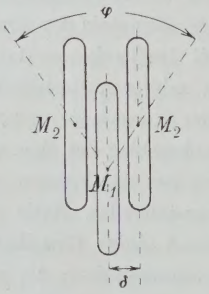


Fig. 2.

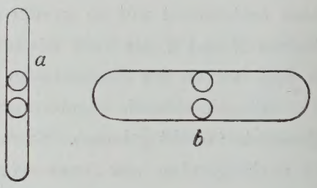


Fig. 3.

Dieser Übelstand wird vermieden, wenn man mit Gramatzki anstatt der Zylinderlinse eine von ihm polykonstantes Gitter genannte Platte zwischen Okular und Auge bringt. Das ist eine mit vielen parallelen, aber in verschiedenen Abständen befindlichen Strichen versehene Glasplatte. Es werden so von jedem Lichtpunkt, der durch die Platte beobachtet wird, eine Reihe von ganz verschieden langen Beugungsspektren erzeugt, die sich alle überlagern, so daß das Sternbild von einem ziemlich feinen „Lichtzeiger“ durchzogen ist, mit dem sich besser messen lassen soll als mit dem durch die Zylinderlinse erzeugten Strich (Fig. 4).

Was die neue Meßmethode zu leisten imstande ist, läßt sich heute noch nicht sagen. Die

[1]) Die interferometrischen Methoden zur Messung von engen Doppelsternen und Fixsterndurchmessern.

wenigen, vom Konstrukteur mitgeteilten Doppelsternmessungen sehen nicht sehr vertrauenerweckend aus. Eine in *Astron. Nachr. Bd. 222. S. 150* mitgeteilte Reihe von effektiven Wellenlängen von Fixsternen, die von ihm auf diese Weise durch Vorschalten eines Objektivgitters gewonnen wurden, zeigen höchstens die Genauigkeit der photographisch gewonnenen Werte. Da aber den effektiven Wellenlängen nur für Durchmusterungen Bedeutung zukommt, so kann man diesen als Einzelwerte gewonnenen Resultaten im Vergleich zu den sehr viel genaueren Farbenindizes keine Bedeutung beimessen.

Einen prinzipiellen Vorteil hat aber diese Methode für Doppelsternmessungen vielleicht aufzuweisen. Bei den Interferenzmethoden hat man stets zwei ziemlich weit voneinander abstehende Strahlenbündel aufzufangen, die durch die Luftunruhe sehr verschieden beeinflußt werden und ganz falsche Interferenzen ergeben können. Bei Gramatzkis Methode fällt diese Fehlerquelle völlig fort. Wenn die Luftunruhe nicht überhaupt das Zustandekommen von sckarfen Sternbildern verhindert, so wird sie stets die von beiden benachbarten Sternen ankommenden Strahlen praktisch völlig gleichartig beeinflussen. Aus diesem Grunde und weil außerdem die Apparatur wenig kostspielig ist, wird es sich wohl doch lohnen, die Methode etwas weiter zu verfolgen. *K. F. Bottlinger.*

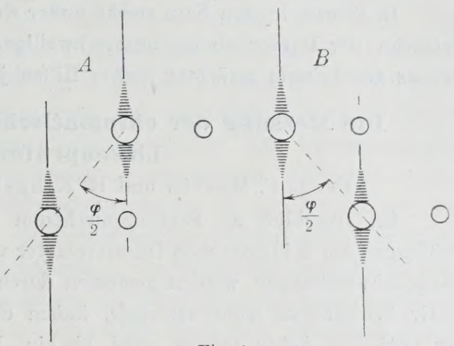


Fig. 4.

Die Marskanäle als optische Täuschungen.

Von A. Kühl. *D. Opt. Wochenschr.* ***10.*** *S. 596. 1924.*

Die Entdeckung der sogenannten Marskanäle durch Schiaparelli und die Beobachtung derselben durch spätere Astronomen hat die Meinung herbeigeführt, es hier mit wirklichen Einzelheiten auf der Marsoberfläche zu tun zu haben. Obgleich diese Theorie in der ganzen Welt lebhaften Beifall fand, traten doch Zweifler auf, die die Kanäle als optische Täuschungen ansprachen. Doch waren ihre Einwendungen nicht genügend wissenschaftlich begründet, um das Märchen von den Marskanälen aus der Welt zu schaffen. Die eingehenden physiologisch-optischen Vorarbeiten des Verf., die bekanntlich auf Untersuchungen von Mach und Seeliger aufbauen, rücken das Problem der Marskanäle in ein neues Stadium. Zunächst kann Verf. auf Grund von praktischen Fernrohrmessungen an Sternbildern und Strichbreiten sowie aus kontrasttheoretischen Untersuchungen heraus zeigen, daß die Astronomen Lau und Lowell, die unter Verwendung ganz verschiedener optischer Hilfsmittel die sorgfältigsten Messungen und Beobachtungen angestellt haben, beide den Marskanälen nur ein Siebentel der Breite zuerteilt haben, die sie haben müßten, wenn die Kanäle durch wirklich auf der Marsoberfläche vorhandene Striche oder Punktfolgen verursacht wären. Also können die Kanäle nicht reellen Gebilden entsprechen. Werden die Kanäle jedoch als Grenzkontrastlinien zwischen Flächengebieten von geringfügigem Schattierungsunterschiede gedeutet, so muß die Schwärzung und Deutlichkeit dieser Linien am ausgeprägtesten sein, wenn nur ein Zapfenelement der Netzhaut von der kritischen Stelle der Lichtverteilung der Breite nach bedeckt wird. Diese Tatsache ist auch von Lowell beachtet worden, was daraus hervorgeht, daß er die Marskanäle deutlicher sah, wenn das Fernrohr zweckmäßig abgeblendet wurde. Verf. kann nun zeigen, daß der Fernrohrwert des Zapfendurchmessers für Lowell nur um $^1/_{100}$ Bogensekunde größer ist als die von ihm angegebene Breite eines Marskanals. Lau hat den Kanal abwechselnd in der Breite von 1 bis 2 Zapfendurchmessern beobachtet, so daß die Strichführung der Kanäle in seinen Zeichnungen weicher und grauer ist als bei Lowell. Diese Tatsachen sagen eigentlich schon genug, trotzdem zeigt Verf. das Marsphänomen noch auf originelle Weise an bedrucktem Papier, auf das einige Flecken gebracht sind. Das Schlußergebnis ist also folgendes:

„Die Planetenoberfläche (des Mars) ist, wie die Oberfläche der Erde und des Mondes, in Wirklichkeit übersät mit einer außerordentlichen Vielheit scharf definierter Einzelheiten, die, bis auf wenige Ausnahmen (die Endflecken der Kanäle), unter der Auflösbarkeitsgrenze unserer Fernrohre liegen. Die Grenzübergänge von Gebieten mit verschiedener Flächendichte dieser Einzel-

heiten geben Veranlassung zu physiologisch-optischen Grenzkontrastlinien im Beobachterauge, die meistens auch unter der Merkbarkeitsgrenze liegen. Nur zwischen den noch eben auflösbaren Einzelheiten können sie durch deren Mithilfe über die Empfindungsschwelle gehoben und als Marskanäle sichtbar werden.“

In diesem letzten Satz steckt außer der Lösung des Marsrätsels die bisher noch unbekannte Tatsache der Hervorhebung unterschwelliger Kontrastlinien über die Empfindungsschwelle vermittels gleichsinnig gefärbter reeller Hilfsobjekte an den Enden der Linien. *Flügge.*

Die Messung der chromatischer Aberration auf dem Hilgerschen Linsenprüfungs-Interferometer.

Von L. C. Martin und R. Kingslake. *Trans. Opt. Soc.* **25.** *S. 213. 1923/24.*

Im Anschluß an Prüfungsmethoden für sphärische Aberration nehmen Verf. ebensolche Prüfungen am Hilgerschen Interferometer vor für die chromatische Aberration. Die chromatischen Längenabweichungen werden gemessen durch die Verschiebung des hinter dem zu prüfenden Objektiv befindlichen Konvexspiegels, indem dieser mittels einer Mikrometerschraube so weit längs der optischen Achse bewegt wird, bis ein „bestes“ Interferenzbild zustande kommt, mit anderen Worten, bis der Krümmungsmittelpunkt des sphärischen Konvexspiegels mit dem hinteren Brennpunkt des Objektivs zusammenfällt. Auf diese Weise werden direkt die Bildweiten für verschiedene Farben ermittelt. Für dazwischen liegende Wellenlängen geben die Verf. die Aberration durch:

$$\delta = P + \frac{Q}{\lambda} + \frac{R}{\lambda^2},$$

wo δ die Verrückung des Fokus bedeutet, P, Q und R Konstanten, sowie λ die Wellenlänge sind. An Hand dieser Formel läßt sich dann auf einfache Weise der Scheitel der Kurve des sekundären Spektrums bestimmen. *Flügge.*

Die Addition von Aberrationen.

Von T. Smith. *Trans. Opt. Soc.* **25.** *S. 177. 1923/24.*

Durch die große Zahl der Freiheitsgrade in allen außer den einfachsten Liniensystemen ist die Theorie der optischen Instrumente verwickelt, insbesondere da, wo es sich um Aberrationen handelt. In der vorliegenden Arbeit werden die Aberrationskoeffizienten eines Systems über einer allgemeinen Grundlage entwickelt, die von den besonderen Eigenschaften des Systems unabhängig ist. Verfasser beschränkt sich bei seinen Untersuchungen auf symmetrische Systeme, und zwar an erster Stelle auf solche, die nur aus zwei Teilen bestehen. Die brechenden Flächen sind beliebige Umdrehungsflächen, die Medien sind beliebig inhomogen, sofern sie nur homogen sind in Schnitten senkrecht zur Achse. Die Untersuchung wird nach zwei Methoden vorgenommen, die beide auf denselben Voraussetzungen fußen. Die erste ist eine Methode sukzessiver Approximation und wird angewandt auf Gleichungen niederer Ordnung. Sie liefert die schon bekannten Resultate für die sechs Aberrationen erster Ordnung, sowie solche für die zehn Aberrationen zweiter Ordnung. Für höhere Aberrationen reicht diese Methode nicht mehr aus, und es wird daher eine zweite Methode entwickelt, die die Resultate der ersten Methode mit liefert. Sie ist allgemeinerer Natur und besonders bequem, wenn das Lagrangesche Theorem dazu benutzt wird, die allgemeinen Additionsgesetze zu bestimmen. Diese Methode liefert Lösungen für Aberrationen jeglicher Ordnung, also insbesondere auch für die 15 Aberrationen dritter Ordnung. Die erhaltenen Additionsformeln sind frei von allen entbehrlichen Ausdrücken infolge Definition einer neuen Funktion, durch welche das Eikonal ausgedrückt wird. Insbesondere gibt Verf. die Bedingungen für Aberrationsfreiheit an in Termen dieser Funktion. *Flügge.*

Betrachtungen zur Darstellung des Abbildungsvorgangs im Mikroskop und zur Frage des Auflösungsvermögens im Hellfeld und Dunkelfeld.

Von M. Berek. *Zeitschr. f. wissensch. Mikroskopie* **41.** *S. 1. 1924.*

Die theoretische Behandlung des Auflösungsvermögens hat im Verlaufe der Forschung zwei verschiedene Wege eingeschlagen: in der Abbeschen Darstellung spielt lediglich die Definition der Objektähnlichkeit die Hauptrolle, in der Foucault-Helmholtzschen Darstellungsweise wird das

Auflösungsvermögen wesentlich durch das physiologische Unterscheidungsvermögen bestimmt. Bei Abbe wird der Bildinhalt durch den innerhalb der Blendenöffnung befindlichen Anteil des primären, diskontinuierlich gedachten Interferenzbildes bestimmt, bei Foucault-Helmholtz ausschließlich durch die Beurteilungswirkung an der Öffnungsblende. Diese beiden Betrachtungsweisen führen zu neuen Ergebnissen, wenn sie auf das Dunkelfeld übertragen werden. Verf. zeigt, daß bei Anwendung der Abbeschen Betrachtungsweise mit der Dunkelfeldbeobachtung von vornherein ein Aperturverlust verknüpft ist, der für das Auflösungsvermögen nicht nutzbar zu machen geht. Wendet man die Foucault-Helmholtzsche Darstellungsweise auf das Dunkelfeld an, so bleibt dagegen das Auflösungsvermögen im Hellfeld und Dunkelfeld das gleiche. Die Untersuchungen des Verf. über das Dunkelfeld haben nun folgende Ergebnisse zu verzeichnen: Zunächst ist die Abbesche Unterscheidung von Selbstleuchtern und Nichtselbstleuchtern für die Darstellung des Abbildungsvorganges unzweckmäßig, weil häufig auch Nichtselbstleuchter wie Selbstleuchter abgebildet werden. Ferner kommt für die mikroskopische Abbildung von Nichtselbstleuchtern in sehr vielen Fällen nicht die Abbesche Darstellungsweise, sondern die Foucault-Helmholtzsche in Betracht. Jedoch ist letztere nicht als die allgemeinere hinzustellen, da sie die Abbildung feiner periodischer Strukturen unter Anwendung schmaler Beleuchtungskegel nicht den Tatsachen entsprechend darzustellen vermag. Vielmehr sind beide Betrachtungsweisen zu vereinen; erst dann läßt sich der Abbildungsvorgang im Mikroskop in allen Fällen widerspruchslos darstellen. In Grenzfällen reicht natürlich eine der Betrachtungsweisen aus. Was die Frage nach der Auflösungsgrenze im Mikroskop anbetrifft, so läßt sich diese überhaupt nicht allgemein beantworten, denn es kommt immer darauf an, welcher Betrachtungsweise das Übergewicht zufällt. *Flügge.*

Lupenvergrößerung.

Von W. Zschokke. *Central-Ztg. f. Opt. u. Mech.* **45.** *S. 252. 1924.*

Verf. macht darauf aufmerksam, daß die in allen Lehrbüchern angegebene Formel für die Lupenvergrößerung

$$v = \frac{250}{f}$$

an sich nicht richtig ist. Es ist eine den Optikern schon längst bekannte Tatsache, daß sich mit einer Lupe Vergrößerungen erreichen lassen, die obigen Wert übersteigen. Verf. zeigt, daß die Vergrößerung mit der Vergrößerung des virtuellen Bildes wächst, und zwar so lange, bis die Bildweite gleich der Sehweite wird. Dann aber nimmt die Vergrößerung wieder ab, weil sich das Auge dem virtuellen Bilde nicht mehr nähern kann. Die maximale Lupenvergrößerung beträgt

$$v_{\max} = \frac{250}{f} + 1.$$

In der *Central-Ztg. f. Opt. u. Mech.* **45.** *S. 314. 1924* wird von Tronnier darauf hingewiesen, daß sich diese Formel in anderer Form bereits in verschiedenen Lehrbüchern befindet. Der genannte Verf. gibt noch eine andere Ableitung der Formel unter Zugrundelegung bekannter Beziehungen $\frac{1}{v} = \frac{y}{y_1}\frac{a}{b}$ und $\frac{1}{a} - \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$. *Flügge.*

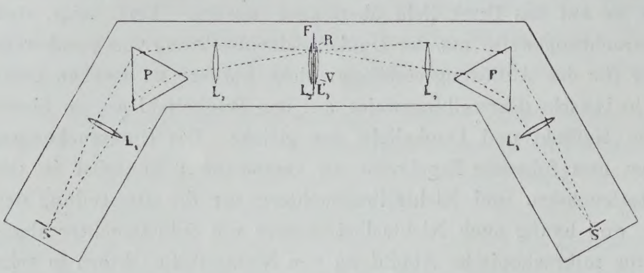
Ein Monochromator von großer Lichtstärke und mit wenig diffusem Licht.

Von P. H. van Cittert. *Rev. d'Opt.* **2.** *S. 57. 1923.*

Um bei einem Monochromator eine größere spektrale Reinheit zu erhalten, schaltet Leiss (*diese Zeitschr.* **41.** *S. 246. 1921*) Farbfilter ein oder empfiehlt für höchste spektrale Reinheit die Verwendung eines zweiten Monochromators. Dieser Vorschlag hat beim Übergang von einer Farbe zu einer anderen die Schwierigkeit im Gefolge, daß beide Prismen um genau gleiche Winkel gedreht werden müssen.

Der Verf. sucht das Prinzip des doppelten Monochromators auf folgende Weise zu verwirklichen (Figur). Zwei völlig gleiche Monochromatoren $S L_1 P L_2$ und $L_2' P' L_1' S'$ sind so angeordnet, daß die Brennebenen der Linsen L_2 und L_2' in F zusammenfallen. Fällt weißes Licht auf den Spalt S, so entsteht in F ein Spektrum RV, das durch den zweiten Monochromator wieder zu

einem weißen Spaltbilde S' vereinigt wird. Bringt man jedoch in F einen verschiebbaren Spalt an, so erhält man in S' nur die Farbe, die in F durchgelassen wird und das durch F hindurchtretende diffuse Licht von anderer als der gewünschten Wellenlänge wird rechts und links von Spalt S' auf die Spaltbacken fallen. Gibt jeder der beiden Monochromatoren $a/100$ diffuses Licht, so geben beide Apparate nur $a^2/10000$. Um zu verhüten, daß wegen der Divergenz der verschiedenen Strahlen zwischen L_2 und L_2' ein Teil des durch L_2 tretenden Lichtes nicht durch L_2' geht, ist je eine plankonvexe Linse L_3 und L_3' zu beiden Seiten von F angebracht. Die Brennweite von L_3, L_3' ist so gewählt, daß ein Bild der Linse L_2 auf L_2' geworfen wird; L_3 und L_3' brauchen nicht chromatisch korrigiert zu sein.



Die Vorzüge dieses Monochromators sind bemerkenswert. Neben großer Lichtstärke ist nur wenig falsches Licht vorhanden, selbst wenn man stark diffus wirkende Flächen in den Strahlengang einschaltet. Das Öffnungsverhältnis der Linsen kann sehr günstig gewählt werden; durch Einschieben von zwei Spalten in F können gleichzeitig zwei verschiedene Wellenlängen in S' zusammenfallen. Das in S' austretende Licht hat stets die gleiche Öffnung und Richtung.

L. J.

Bemerkung über eine zweckmäßige Bank für die Prüfung von Fernrohrobjektiven.

Von L. C. Martin. *Trans. Opt. Soc.* **25.** *S. 209. 1923/24.*

Es wird eine optische Bank beschrieben, die sich bei Laboratoriumsversuchen als außerordentlich praktisch erwies. Die Bank ist geneigt und dazu bestimmt, Fernrohrobjektive durch Autokollimation am künstlichen Stern zu prüfen. Als Stern dient ein hell beleuchteter Quecksilbertropfen auf schwarzem Sammet.

Flügge.

Bücherbesprechungen.

W. Bowie, *Geodetic Operations in the U. S. and outlying possesions, Jan. 1. 1922 to Dec. 31. 1923. (Serial No. 270, Spec. Publ. No. 104 Coast and Geodetic Survey).* 28 S. gr. 4° mit Taf. und Abb. Washington, Governmt. Printing Office 1924.

Der vorliegende Bericht vom Vorstand der geodätischen Abteilung des U. S. C. and G. S. über die Arbeiten in den zwei Jahren 1922 und 1923, der internationalen geodätischen und geophysischen Vereinigung (— die bekanntlich Deutschland vom Beitritt ausgeschlossen hat —) erstattet, ist auch vom Standpunkt der Instrumentenkunde von großem Interesse.

Der C. and G. Survey der Vereinigten Staaten hat jetzt alle feinen geodätischen Messungen (mit Ausnahme solcher für große Städte, die aber ebenfalls vom Survey gelieferte Daten benützen) in der Hand, was natürlich große Vorteile für die Organisation und Einheitlichkeit der Messungen mit sich bringt. Auch die Wirksamkeit des im Januar 1920 begründeten Board of Surveys and Maps der Bundesregierung (an der 18 Regierungsbehörden sich beteiligen) wird belobt, besonders wegen Vermeidung von Doppelarbeit und wegen der Möglichkeit gegenseitiger Hilfe.

In den zwei Berichtsjahren sind 68 Azimute unmittelbar gemessen worden, davon zwölf Nachmessungen in Kaliforniens Erdbebengebiet. Bei den 24 direkten Polhöhenmessungen wurde ein Bambergsches gebrochenes Durchgangsinstrument und ein Troughton-Simmssches Zenitteleskop verwendet (Talcotts Methode mit je zehn oder mehr Sternpaaren). Bei den direkten Längenunterschiedsbestimmungen wurde zum erstenmal im Gebiet der Vereinigten Staaten i. e. S. und in Alaska die Radiotelegraphie benützt; die Zeitzeichen von Annapolis (Maryland) wurden mit dem Eckhardt-Kercherschen Apparat abgenommen und waren bis ins südöstliche Alaska hinein, wo

keine Draht- oder Kabel-Telegraphenzeichen zur Verfügung gestanden hätte, brauchbar. Die Methode lieferte so befriedigende Ergebnisse, daß der Verf. sagt: „Es erscheint wahrscheinlich, daß die telegraphische Drahtmethode zur Bestimmung von Längenunterschieden I. O. rasch außer Gebrauch kommen wird“; nicht für eine einzige der 15 S. 5/6 aufgeführten neuen Längenbestimmungen geht der wahrscheinliche Fehler über $\pm 1^1/_2$ Hundertstel der ^{s} hinaus.

Auf die Ergebnisse der Triangulationsmessungen I. O. der Berichtszeit (aus denen im W. der Union, an der pazifischen Küste, u. a. auch interessante Schlüsse auf horizontale Bodenbewegungen zu ziehen sind) kann trotz der Bedeutung, die sie für den Geodäten haben, in *dieser Zeitschr.* nicht eingegangen werden. Wenigstens erwähnt seien nur zwei Dinge, nämlich einmal die trigonometrische Bestimmung der Entfernung der zwei Punkte Wilson Peak und San Antonio Peak, die Prof. Michelson zu einer neuen genauern Ermittlung der Lichtgeschwindigkeit verwenden will (die gerade Linie zwischen den zwei Beobachtungspunkten beträgt, bis auf wenige Zentimeter genau 35385,53 m); und sodann die Messung der neun Grundlinien aus der Berichtszeit. Die kürzeste davon ist nur 2,4 km lang, die längste aber, bei Pasadena (Kalif.) rund 33,6 km, eine andere mißt 28,6 km; diese zwei letzten gehören also zu den längsten Strecken, die je mit der Genauigkeit I. O. gemessen wurden (in Südafrika und in Mexiko sind noch längere gemessen) und sind unmittelbar als Dreiecksseiten I. O. brauchbar. Alle neun Grundlinien sind mit den 50 m-Invarbändern des Survey gemessen; bei keiner erreicht der relative wahrscheinliche Fehler $^1/_{1000000}$ der Länge, bei der angeführten längsten (Pasadena) ist er rund nur $^1/_{10}$ dieses Betrags.

Auch die Fortsetzung der Feinnivellierungen kann hier nicht besprochen werden, ebensowenig die Nutzbarmachung der Arbeiten des Survey als Grundlage von Stadtvermessungen oder die Maßnahmen zur Sicherung der vielen Tausende von Festpunkten aller Feinmessungen in Lage oder Höhe.

Nur die Schweremessungen, die in der Union, besonders auch mit Rücksicht auf die Diskussion der Lotablenkungen usf. für die Theorie der Isostasie eine so liebevolle Pflege finden, seien noch erwähnt, weil bei ihnen die dringende Notwendigkeit der Verfeinerung und zugleich Erleichterung der g-Messungen betont wird. Durch andere Veröffentlichungen ist bereits bekannt geworden, daß diese Wünsche durch den neuen, nach Prof. Michelson, Chicago, gebauten Pendelapparat erfüllt werden werden, der die Genauigkeit der g-Messungen auf $^1/_{1000000}$ bringen soll.

Angeführt sei zum Schluß auch noch der neue tragbare selbstschreibende Wasserstandsmesser, der von T. G. Rude, Lt. Com. und Mitglied des Survey (Tides and Currents), ziemlich ausführlich beschrieben und in Fig. 17 abgebildet wird. *Hammer.*

A. Brückner, Grundzüge der Brillenlehre für Augenärzte. 1. Bd. Die Brille und das ruhende Auge. VIII u. 159 S., 83 Abb. Julius Springer, Berlin 1924.

Verfasser stellt sich die Aufgabe, die gegenseitigen mathematischen Beziehungen zwischen dem ruhenden Auge und dem Brillenglas darzustellen. Kenntnisse der optischen Abbildungsvorgänge werden nicht vorausgesetzt, vielmehr werden die in Frage kommenden Grundbegriffe und Grundgesetze im ersten Teil abgehandelt. Ausgehend von der Bedeutung der Grundpunkte führt dieser erste Teil über die Abbildungsvorgänge bei dünnen Linsen und bei einfachen Kugelflächen bis zur Abbildung durch Systeme aus mehreren Flächen. Hierbei beschränkt sich die Darstellung auf die Vorgänge im parachsialen Gebiet. Der zweite Teil befaßt sich zunächst mit den Abbildungsvorgängen im unkorrigierten Auge und geht dann nach der Erklärung der Aufgabe des Brillenglases zum Hauptthema über, zur Erörterung der Abbildungsvorgänge im korrigierten Auge. Hierbei werden mit gleicher Ausführlichkeit beide Fälle, der der Akkommodation und der der Akkommodationsruhe behandelt. Ein besonderes Kapitel ist dem Thema „Sehschärfe und Brille“ gewidmet, wobei besonders auf die begrifflichen Unterschiede zwischen absoluter, relativer und natürlicher Sehschärfe eingegangen ist. Den Schluß des ersten Teiles bildet ein Kapitel über Astigmatismus, das sich mit den Abbildungsvorgängen längs der Achse von Zylinderlinsen und torischen Gläsern befaßt. Der dritte Teil enthält die Anwendung des in den beiden ersten Abschnitten Dargestellten auf nummerische Beispiele, wobei nicht nur die Resultate, sondern auch die gesamten Durchrechnungen wiedergegeben sind. Neben der Berechnung an einfachen Brillengläsern und Fernrohrbrillen wird hierbei besonders ausführlich auf die Durchrechnung des schematischen Auges eingegangen.

Die Darstellungen des Verfassers bewegen sich in streng mathematischer Form und sind

demjenigen, der sich eingehend mit diesen Fragen beschäftigt, sicher willkommen. Ob sie gerade wegen der ausgesprochen mathematischen Behandlung auch für den praktischen Augenarzt geeignet sind, muß die Erfahrung lehren. *Hinrichs.*

A. Siegrist, Refraktion und Akkommodation des menschlichen Auges. Mit Berücksichtigung der Lehre von den Brillen und der Sehschärfe. gr. 8°. VI, 148 S. mit 108 zum großen Teil farbigen Abbildungen. Julius Springer, Berlin 1925. Geb. 18,60 M.

Das vorliegende Buch macht die Vorlesungen des Direktors der Universitäts-Augenklinik in Bern über das im Titel genannte Gebiet der Allgemeinheit zugänglich. Die Refraktion und Akkommodation des menschlichen Auges darf in der Tat nicht nur bei Studenten der Medizin und Ärzten auf größtes Interesse rechnen, sondern bei allen geistigen Arbeitern, denen Kenntnis und Pflege des eigenen Sehorgans Pflicht der Selbsterhaltung ist. Da der Inhalt der Vorlesungen zugleich die Lehrerkreise in das wichtige Gebiet einführen soll, hat der Verf. eine im besten Sinne populäre Form der Darstellung gewählt, die geeignet ist, den Kreis seiner Leser außerordentlich zu erweitern.

Siegrist behandelt nach einem einleitenden Kapitel über die Anatomie des normalen menschlichen Auges und über den normalen Augenhintergrund in fünf Abschnitten Dioptrik, Brillenlehre, Akkommodation, Sehschärfe und Akkommodationsfehler. Die Darlegungen sind von fesselnder Klarheit und Schlichtheit. Auch der Versuch, das ganze Gebiet der Refraktion ohne mathematische Formeln verständlich zu machen, darf als wohlgelungen bezeichnet werden. Allerdings wird dabei als sinnfälliges Hilfsmittel die farbige Darstellung der Strahlengänge verwendet.

Auch ein großer Teil der anderen Abbildungen ist in Farbendruck ausgeführt, und zwar in einer technischen Vollendung, die ebenso wie die typographische Ausstattung des Buches als Musterleistung des Verlages zu bezeichnen ist.

Dem Leserkreis unserer Zeitschrift sei das Studium des vortrefflichen Buches dringend empfohlen. *G.*

Zuschriften.

Kameralinsen von großer Öffnung.

Unter obigem Titel wurde in *dieser Zeitschrift* ***44.*** *S. 422. 1924* über eine Arbeit von G. W. Moffit referiert, in der die Bedingungen für den Korrektionszustand lichtstarker Objektive für Sternspektrographen aufgestellt wurden; das Objektiv soll danach frei von sphärischen Abweichungen, sowie frei von Zonen sein und ein möglichst ebenes Bild besitzen, ferner kein Koma haben und die Sinusbedingung erfüllen; Freiheit von Astigmatismus sei nicht unbedingt erforderlich. Der Verfasser teilt dann mit, daß er ein Objektiv nach dem Petzvaltypus mit dem Öffnungsverhältnis $F:3$ konstruiert habe, das seinen Anforderungen entspräche.

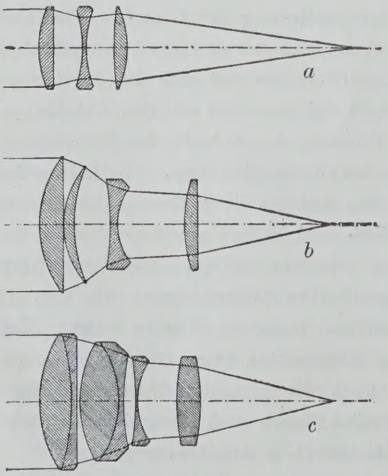


Fig. 1.

Es mag hier darauf hingewiesen werden, daß wir in Deutschland einen Objektivtypus besitzen, der bei der größeren Öffnung $F:2$ nicht nur den obengestellten Forderungen entspricht, sondern in seinem Korrektionszustand noch weitergehende erfüllt. Dieser lichtstarke Anastigmat wird von den Ernemann-Werken A.-G., Dresden, unter der Bezeichnung Ernostar 1 : 2,0 hergestellt.

Es handelt sich hierbei um einen neuen, von den bekannten abweichenden Typus. Sein Aufbau kann äußerlich aus dem Taylor-Triplet hergeleitet werden (Fig. 1a). Beim Ernostar erscheint die Vorderlinse in zwei Teile zerlegt, wobei gleichzeitig die sammelnde Wirkung des Vordergliedes verstärkt ist. Hierin unterscheidet sich der Ernostar prinzipiell vom Taylor-Triplet, und dieser Unterschied kommt besonders in dem konvergenten Strahlengang hinter der zerstreuenden Mittellinse beim Ernostar zum Ausdruck, gegenüber dem divergenten an der gleichen Stelle bei dem

Taylor-Triplet und bei den mit letzterem verwandten Typen (Fig. 1b). — Zur Erreichung einer möglichst vollkommenen chromatischen Korrektur sind in die beiden Vorderlinsen chromatisch entgegengesetzt wirkende Kittflächen gelegt, so daß die in der Fig. 1c dargestellte Form die endgültige ist. Eine genauere Beschreibung dieses neuen Types findet sich in den Deutschen Patentschriften Nr. 401274 und 401275.

Die Korrektion der sphärischen Aberration und des Fehlers gegen die Sinusbedingung darf bei dem Ernostar 1 : 2,0 als ideal angesprochen werden insofern, als die entsprechenden Korrektionskurven, wie Fig. 2 zeigt, fast mathematisch genau in der Ordinatenachse verlaufen und keine Zonenausbuchtungen zeigen. Der sphärische Restfehler für achsenparallele Randstrahlen beträgt $-0{,}6\,^0/_{00}$, der für die Zonenstrahlen $+0{,}3\,^0/_{00}$ der Brennweite, Werte, die selbst bei weniger geöffneten Anastigmaten noch nicht erreicht worden sind.

Auch die astigmatische Korrektur ist für einen halben objektseitigen Bildwinkel von 21° durchgeführt, wobei Bildfeldebnung besteht. Der Verlauf der Restfehler ist aus Fig. 3 bis zu einem objektseitigen Bildwinkel von 16,7° zu ersehen.

Ebenso sind die komatischen Fehler auskorrigiert. Sternaufnahmen zeigen die Koma-Freiheit deutlich dadurch, daß selbst in den äußersten Teilen des Bildfeldes die Bildscheibchen kreisrund sind und keine Deformation zeigen.

Auch die Verzeichnungsfehler halten sich in den üblichen kleinen Grenzen und bleiben unsichtbar.

Außerdem sind die Farbenfehler vollkommen aufgehoben. Die chromatische Variation der sphärischen Aberrration ist in Fig. 2 als strichpunktierte Kurve eingetragen. Auch diese weicht nur sehr wenig von der Ordinatenachse ab und zeigt damit an, daß der Farbenfehler über die ganze Öffnung verschwindet. Die Größe der chromatischen Restfehler geht aus den Angaben der schematischen Darstellung hervor. Der Farbenfehler ist aber nicht nur für Gelb und Violett behoben, sondern auch noch für Rot und Blau, so daß der Ernostar zu den sphäro-chromatisch und apo-chromatisch korrigierten Objektiven zu zählen ist.

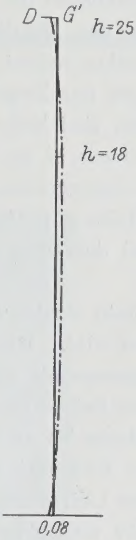


Fig. 2.

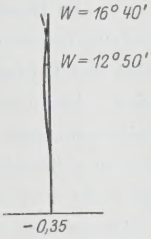


Fig. 3.

Infolge des aufgeführten, weitgehenden Korrektionszustandes dürfte sich der Ernostar 1 : 2,0 ganz besonders für die Verwendung im Sternspektrographen eignen. Dr. *Klughardt.*

Kreisteilungen.

In *dieser Zeitschr.* **45.** *S. 70—84. 1925* bringt Herr Professor Ing. Hk. J. Heuvelink in Delft eine Abhandlung über die Prüfung der Kreisteilungen von Theodoliten und Universal-Instrumenten.

Es werden dort die Prüfungsergebnisse einer ganzen Reihe von Kreisteilungen veröffentlicht, die aus Werkstätten stammen, welche sich vornehmlich mit der Herstellung genauer Kreisteilungen befaßt haben und sich auch heute noch befassen.

Die Teilungen Nr. 8a—26 und Nr. 27—46 Seite 80—81 sind unter anderen aus der Werkstätte meines sel. Vaters, bzw. aus meiner früheren Werkstatt hervorgegangen.

Verfasser besagter Abhandlung macht auf S. 80, Zeile 9—13 eine Bemerkung, die mich recht merkwürdig berührt hat und besser ganz unterblieben wäre, da sie zweideutig aufgefaßt werden kann und vor allem nicht den Tatsachen entspricht.

Zur Richtigstellung bemerke ich nun folgendes:

Die Teilungen Nr. 8a—26 „Teilungen von Jul. Wanschaff" sind ca. zur Hälfte von meinem Vater, zur anderen Hälfte von mir persönlich ausgeführt worden, während die Teilungen Nr. 27 bis 46 „Teilungen von Hermann Wanschaff" nur z. T. von mir persönlich hergestellt worden sind.

Über die Herstellung von Kreisteilungen nach dem Kopierverfahreu und deren Prüfung soll mir gestattet sein, zu der Abhandlung noch einige ergänzende Worte hinzuzufügen.

Beim Kopierverfahren, welches von uns (meinem Vater und mir) ausschließlich angewendet

worden ist, hängt die Güte der Kreisteilung nicht zum geringen Teil vom Teiler selbst ab (ein schlechter Teiler wird auf der besten Teilmaschine keine hochwertige Teilung herstellen können) und dann von der Art des Kopierens. Eine Teilung, welche mittelst Doppelfädenpaar im Mikroskop hergestellt wird, wobei der Fehler der benachbarten Teilstriche der Mutterteilung ausgeglichen, resp. halbiert wird, ist genauer als eine Teilung, zu deren Herstellung nur ein Fädenpaar beim Kopieren im Mikroskop benützt wird. Welche von beiden Methoden des Kopierens von uns angewendet wurde, hing einmal von den Ansprüchen, die an das Instrument gestellt wurden, ab, das andere Mal von dem für das betreffende Instrument zur Verfügung stehenden Preise, da die erste genauere Methode entsprechend mehr Zeitaufwand und Mühe erfordert. Voraussetzung ist natürlich, daß die Temperatur des Teilraumes bis auf $\pm 1^0$ C konstant gehalten wird, da sonst bei größeren Temperaturschwankungen der zu teilende Kreis auf der Maschine, infolge Ausdehnung und Wiederzusammenziehens der Metallteile der Kreisteilmaschine „wandert", bezw. seine zentrische Lage zur Kreisteilmaschine verliert, so daß die Teilungsfehler dadurch vergrößert werden können.

Bei den von uns hergestellten Teilungen für die niederländische Gradmessung, welche hier in Frage kommen, sind beide Arten des Kopierens in Anwendung gekommen, wodurch sich z. T. auch die Unterschiede in der Genauigkeit des mittleren Teilungsfehlers „μ" erklären.

Die Prüfungsergebnisse einer Teilung sind weiter durch die persönlichen Einstellungsfehler der die Teilung prüfenden Person beeinflußt. Zwei Beobachter, welche unabhängig voneinander ein und denselben Kreis prüfen, werden erfahrungsgemäß nicht die gleichen Resultate erzielen.

Die Resultate werden auch davon abhängen, bei welchem Gradstrich mit der Prüfung einer Teilung begonnen wird. Wird z. B. die Prüfung von 5^0 zu 5^0 vorgenommen, bei 0^0 beginnend, so wird das Prüfungsergebnis ein anderes sein, als wenn z. B. bei $2^0\,30'$ mit der Prüfung begonnen wird. Aus diesen Betrachtungen können wir daher den Schluß ziehen, daß das Ergebnis einer Teilungsuntersuchung bis zu einem gewissen Grade von Zufälligkeiten abhängt, bzw. von der Wahl der zu prüfenden Intervalle und von der die Prüfung ausführenden Persönlichkeit. Im übrigen wird die von der Universitäts-Sternwarte in Berlin-Babelsberg bevorstehende Veröffentlichung der Untersuchung der Kreisteilungen am Toepferschen Passage-Instrument, das auch künftig für Meridianbeobachtungen benützt werden soll und an den von mir gebauten Vertikalkreis, deren Kreise ich beide persönlich geteilt habe, Aufschluß über die Güte der von mir hergestellten Kreisteilungen geben.

Hermann Wanschaff,
z. Z. Mitarbeiter der Askania-Werke A.-G. „Bamberg-Werk",
Berlin-Friedenau.

Hugo Krüss †.

Während der Drucklegung des vorliegenden Heftes traf die Trauerkunde ein, daß der Vorsitzende unseres Kuratoriums

Prof. Dr. D. h. c. Hugo Krüss

am 27. April nach kurzer Krankheit verschieden ist.

Wir werden in dem nächsten Heft unserer Zeitschrift dem Heimgegangenen einen Nachruf widmen.

Schriftleitung.

Nachdruck verboten.

Verantwortlich für die Redaktion: Oberregierungsrat Professor Dr. F. Göpel in Charlottenburg.
Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.

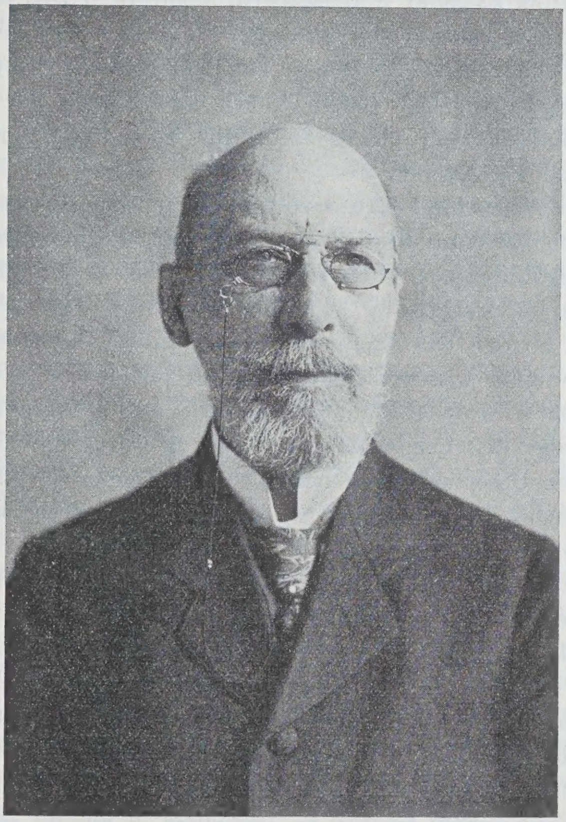
Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Kuratorium:

Prof. Dr. **R. Straubel**, Prof. Dr. **F. Weidert**, geschäftsführendes Mitglied.

Schriftleitung: Oberregierungsrat Prof. Dr. **F. Göpel** in Charlottenburg-Berlin.

XLV. Jahrgang. **Juni 1925.** Sechstes Heft.



Hugo Krüss

Geboren am 23. Februar 1853, gestorben am 27. April 1925.

Prof. Dr. D. h. c. Hugo Krüss.

Am 27. April ist Hugo Krüss infolge eines Herzschlages unerwartet eines sanften Todes gestorben, nachdem er von einer leichten, nur wenige Tage anhaltenden Grippe anscheinend genesen war. Noch vor etwa fünf Jahren hatte der fast Siebzigjährige eine Reihe von schweren operativen Eingriffen, die manchen Jüngeren gefällt hätten, ohne dauernde Schädigung überwunden, am 23. Februar d. J. hatte er in voller Frische seinen 72. Geburtstag begangen; bis zu seiner letzten Erkrankung war er ungeschwächt tätig geblieben. Seinen Tod betrauert die ganze deutsche Fachwelt als einen schweren Verlust, in vorderster Reihe unsere Zeitschrift.

Nicht nur, weil Krüss viele seiner Originalarbeiten in ihr veröffentlicht hat, weil er in ihr regelmäßig und eifrig über die Neuheiten auf dem Gebiete der Optik, besonders der Photometrie und Polarisation berichtet hat — seit 1894 zählte Krüss zu ihren Herausgebern, schon 1895 trat er in ihr Kuratorium ein und seit November 1917 war er dessen Vorsitzender. Daß der Name Hugo Krüss ein Menschenalter lang am Kopfe jedes Heftes unserer Zeitschrift stand, hatte seinen tiefen Grund; denn Krüss war eine Verkörperung des Gedankens, dem unsere Zeitschrift dient, der Verknüpfung von Wissenschaft und Feintechnik.

Auf diesen Weg wurde Krüss sowohl durch eigene Neigung und Veranlagung, wie durch den Wunsch seines Vaters geführt, der in diesem Sohne seinen Nachfolger in der Leitung der alten Hamburger Firma sah, die 1796 von einem Schüler Ramsdens, E. Gabory, gegründet und von ihm auf seinen Schwiegersohn Andreas Krüss, den Großvater von Hugo Krüss, übergegangen war.

Schon die erste wissenschaftliche Arbeit, mit der H. Krüss, zwanzigjährig, die Doktorwürde in München erwarb, beschäftigte sich mit einer praktischen Frage der Feintechnik, mit der Konstruktion eines Objektivs. Solche optischen Untersuchungen hat Krüss längere Zeit fortgesetzt. Wir verdanken ihnen u. a. Aufklärung über die Konstruktionseigenheiten Fraunhoferscher Linsen, eine Kenntnis, die oft entscheidend war für die Beantwortung der Frage, ob ein Objektiv oder Okular, das diesem Meister zugeschrieben wurde, wirklich von ihm herrührte.

Die Optik in Theorie und Praxis blieb das Hauptarbeitsgebiet von Krüss, zumal nachdem er 1876 in das väterliche Geschäft eingetreten war. Frühzeitig schon nahmen photometrische Fragen, entsprechend der wissenschaftlichen Richtung und den tatsächlichen Forderungen jener Zeit, sein Interesse in Anspruch. Man könnte allein aus dem Verzeichnis seiner Veröffentlichungen auf diesem Gebiete — besonders in unserer Zeitschrift sowie im Journal für Gasbeleuchtung und Wasserversorgung — die Entwicklung der Photometrie geradezu ablesen, so treu ist er ihr durch eigene Arbeiten, durch Berichte in Zeitschriften und zusammenfassende Darstellungen gefolgt. Hierbei gelangte Krüss oft zu neuen Konstruktionen oder zu Verbesserungen an vorhandenen Apparaten; es seien genannt: der optische Flammenmesser, ein Prisma, um den Einblick in das Photometer senkrecht zur Bank zu

richten, ein Doppelprisma, um die beiden Seiten des Photometerschirms gleichzeitig nebeneinander erscheinen zu lassen, eine Abänderung des Weberschen Beleuchtungsmessers und des Wingenschen Helligkeitsprüfers, ein Kompensations- und ein Flimmerphotometer, eine Spaltregulierung beim Spektralphotometer, ein Photometer für mittlere Lichtstärken, ein Apparat zur Bestimmung des Planparallelismus von Glasplatten. Krüss wurde durch diese Arbeiten eine der ersten Autoritäten auf dem Gebiete der Photometrie, so daß der Deutsche Verein von Gas- und Wasserfachmännern und die Deutsche Beleuchtungstechnische Gesellschaft ihn in ihre „Lichtmeßkommissionen" und auch in die Internationale Lichtmeßkommission entsandten, wo er, zusammen mit seinem Freunde Bunte, die wesentlichste Arbeit leistete, um die von der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt geschaffene deutsche Lichteinheit, die Hefnerkerze, in die Praxis einzuführen.

Daß Krüss bei einer so fruchtbaren Tätigkeit schon frühzeitig die Aufmerksamkeit der wissenschaftlich-technischen Welt auf sich zog, war selbstverständlich. In erster Linie ist hier die Deutsche Gesellschaft für Mechanik und Optik zu nennen, die Krüss bei ihrer Gründung in den Vorstand berief und ihn nach dem Tode von Loewenherz mit dem Vorsitz betraute. Dieses Amt hat er 30 Jahre lang, bis zur Umwandlung der Gesellschaft, bekleidet. Während dieser Zeit hat er zunächst die zahlreichen wichtigen technischen Arbeiten geleitet, die als Folge der Gewindenormung zu vollbringen waren, insbesondere die Schaffung einheitlicher Rohre und Rohrgewinde. Das feine soziale und technische Verständnis, das er in seiner Eigenschaft als Arbeitgeber für die damaligen Mängel der Lehrlingsausbildung besaß, befähigte ihn, den Ausschüssen zur Aufstellung einheitlicher Lehrverträge und Lehrzeugnisse, Ausbildungs- und Prüfungsvorschriften vorzustehen und ihre Arbeiten zum guten Teil selbst zu leisten. Auf diese Weise wurden die höchst unerwünschten Einmischungen handwerkerlicher Organisationen in die Ausbildungsfragen der Feinmechanik hintangehalten. Es muß auch erwähnt werden, daß seine unerschütterliche Ruhe und seine große parlamentarische Gewandtheit ihn in höchstem Grade befähigten, Verhandlungen zu leiten, die Wogen der Erregung — manchmal nur durch ein kurzes, treffendes Wort — zu glätten und die Aussprache, wenn sie vom Wege abzuirren drohte, schnell wieder in die zielgemäße Richtung zurückzubringen.

Auch für die handelspolitischen Interessen der Feinmechanik hatte Krüss sehr tiefgehendes Verständnis, und er hat ihnen in der Vereinstätigkeit von Anfang an den gebührenden Platz eingeräumt. Als Beweis hierfür darf auf seine zahlreichen Veröffentlichungen auf diesem Gebiete in dem damaligen Organe der Deutschen Gesellschaft für Mechanik und Optik, dem Beiblatte unserer Zeitschrift, hingewiesen werden sowie auf die Tatsache, daß er in den handelspolitischen Beirat des Statistischen Reichsamts berufen wurde. Als später, vor etwa 15 Jahren, gemäß der Entwicklung der gesamten Weltwirtschaft die Fragen der Handelspolitik mehr und mehr in den Vordergrund traten und infolge des Weltkrieges sogar überragende Bedeutung erlangten, hat Krüss gern die einschlägigen Arbeiten berufeneren Kräften überlassen

und sich innerhalb der D. G. f. M. u. O. in der Hauptsache auf die Pflege der technich-wissenschaftlichen Angelegenheiten beschränkt.

Die so erfolgreiche Vereinigung von theoretischen und praktischen Kenntnissen, von sozialem und kommerziellem Verständnis, von rastloser Arbeitskraft und organisatorischer Befähigung in einer Person veranlaßte die Deutsche Reichsregierung, Krüss als Abbes Nachfolger 1905 in das Kuratorium der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt zu berufen, in die Körperschaft, die die Aufgabe hat, zusammen mit der genannten Behörde den Fortschritt der Feinmechanik in wissenschaftlicher und technischer Beziehung zu fördern. Krüss hat von seiner Berufung bis zu seinem Ableben wohl kaum bei einer Beratung dieses Kuratoriums gefehlt.

Die gleichen Eigenschaften haben zur Berufung von Krüss in den Vorstandsrat des Deutschen Museums in München geführt; es war ihm vom Schicksal versagt, die jüngst erfolgte feierliche Einweihung des Neubaues zu erleben.

Auch die engere Heimat hat aus der wissenschaftlichen Einsicht und den verwaltungstechnischen Fähigkeiten von Hugo Krüss Nutzen gezogen. Bis zum Ende des Weltkrieges wirkte er in der Oberschulbehörde Hamburgs als Mitglied, und es seien besonders die Verdienste erwähnt, die er sich um den Neubau der Bergedorfer Sternwarte und um die Gründung der Hamburger Universität erworben hat. Diese hat ihn auch zu ihrem Ehrenmitglied ernannt.

Die im vorstehenden aufgeführte Tätigkeit zum Besten von Wissenschaft und Technik war es, die das Preußische Kultusministerium bewog, eine Anregung der Freunde von Krüss, ihm den Professortitel zu verleihen, an den Hamburgischen Senat weiterzugeben und aufs wärmste zu befürworten; die Ernennung zum Professor von dieser Stelle ist 1917 an dem Tage erfolgt, an dem Krüss das 25 jährige Jubiläum als Vorsitzender der Deutschen Gesellschaft für Mechanik und Optik in Berlin im Kreise seiner Mitarbeiter und Freunde feierte.

Das Bild von Hugo Krüss wäre nicht vollständig, wenn nicht auch seiner rein menschlichen Eigenschaften gedacht würde. Ihm eignete eine tiefe und vorurteilsfreie Frömmigkeit, und er war zu seiner höchsten Befriedigung auch in der Verwaltung der Hamburgischen Kirche tätig, zuerst als Mitglied des Kirchenrats, dann als dessen Präses. Welche Verdienste er sich um die Hamburgische Kirche erworben hat, kann hier nicht beurteilt werden; jedenfalls waren sie so bedeutend, daß eine Universität vom Range der Göttingischen Georgia Augusta aus ihnen Anlaß nahm, ihm die theologische Doktorwürde ehrenhalber zu verleihen. Daß ferner in dem äußerlich so ruhigen, oft kühlen Manne ein warmes Herz schlug, fähig der frohesten Begeisterung und der innigsten Teilnahme, werden alle bezeugen, die das Glück hatten, ihm näher zu stehen und die einen Einblick in sein Inneres gewinnen konnten.

Das Wirken von Hugo Krüss werden wir in treuer Erinnerung behalten, in Dankbarkeit für das von ihm Empfangene und als Vorbild für das von uns zu Leistende.

A. Blaschke.

Kuratorium, Schriftleitung und Verlag der Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Über ein von *Ibn Sînâ* (Avicenna) hergestelltes Beobachtungsinstrument.

Von
Eilhard Wiedemann in Erlangen.

Eine ganze Reihe von muslimischen Gelehrten hat eine erstaunliche Vielseitigkeit entwickelt; so war *Ṯâbit ben Qurra* (826—901) Mathematiker, Philosoph und nicht nur theoretischer sondern auch ausübender Mediziner, *ʿOmar al Chajjâmî* (etwa 1035—1123) einer der bedeutendsten Mathematiker, ein Physiker und Dichter, *Ibn Sînâ* (980—1037), der Avicenna des Abendlandes, hat durch seine medizinischen wie durch seine philosophischen Werke auf Jahrhunderte hinaus die muslimische wie die christliche Welt beeinflußt. Ferner hat er sich eingehend mit Astronomie befaßt und dabei ein ganz eigenartiges Beobachtungsinstrument ersonnen. Wahrscheinlich geschah dies gegen Ende seines Lebens auf Veranlassung von *ʿAlâ al Daula* (1007—1041) in *Ḥamadân* und zwar um die als fehlerhaft erkannten Ephemeriden zu berichtigen, gerade wie 100 Jahre später *al Afḍal*, der bedeutende Vesier des Fatimidensultans *Ḥakâm bi Aḥkâm Allâh* (1101—1130), in Kairo gewaltige Kreise aus Kupfer zu diesem Zweck gießen ließ. Unsere Beschreibung findet sich in der Schrift „Abhandlung des Scheich, des Führers (*Ra'îs*) *Abû ʿAlî al Ḥusain ben ʿAbd Allâh Ibn Sînâ* über eine Methode, die er sich vor allem bei der Herstellung der Beobachtungsinstrumente auswählte". Sie findet sich in einer arabischen Handschrift zu Leiden [Nr. 1061]; Herr Dr. van Arendonk war so freundlich, mir von dieser weiß auf schwarz Photographien herstellen zu lassen. Eine Übersetzung der ganzen Schrift mit einer ausführlichen Besprechung wird in den Acta Orientalia erscheinen. Herr Prof. Dr. Th. W. Juynboll wird dort auch den arabischen Text mitteilen; diesem hervorragenden holländischen Gelehrten bin ich bei der Bearbeitung des Textes für mannigfache Unterstützung verbunden. Hier soll nur die Beschreibung der Instrumente gegeben werden.

Ibn Sînâ stellt sich die Aufgabe ein Instrument herzustellen, das so genau ist, daß man mit ihm Winkel mindestens bis auf Minuten genau bestimmen kann. Dabei betont er mit Recht, daß man dies nur erreicht, wenn man noch Sekunden messen kann; er geht aber zu weit, wenn er wünscht, daß es auch noch $^1/_2$ und $^1/_4$ Sekunden, also Tertien, messen läßt. Daß dieses Ziel selbst mit den größten Instrumenten sich nicht erreichen ließ, liegt auf der Hand. Übrigens enthält die vorliegende Schrift keine mit dem Instrument durchgeführten Beobachtungen. Wir besprechen zunächst das Prinzip, das dem Instrument zugrunde liegt, und dann dieses selbst.

Die Beschreibung des Instrumentes durch *Ibn Sînâ* läßt viel zu wünschen übrig. Zunächst fehlen alle Angaben über die Abmessungen der einzelnen Teile. Es ist einzig angegeben, daß die Länge der beiden Lineale (Schenkel) etwa $3^1/_2$ m beträgt; über deren Dicke können wir uns auch aus der Zeichnung bei deren Mangelhaftigkeit kein Bild machen. Auch wichtige Teile der Anordnung sind mit Stillschweigen übergangen, die Art der Teilung läßt sich nur erraten, der Zweck von manchen Teilen, die sich von denjenigen anderer Instrumente unterscheiden, ist nicht mitgeteilt, so warum die Löcher in den Aufsätzen an seitlichen Ansätzen (den Absehen) angebracht sind. Wir haben es hier mit einem Mangel in der Darstellung zu tun, der uns in der älteren Zeit vielfach begegnet, so bei der Beschreibung der Wasseruhren durch *al Gazarî* und *Riḍwân*[1]), bei derjenigen zahlreicher sinnreicher Anordnungen durch die *Benû Mûsâ*

[1]) E. Wiedemann und F. Hauser, Über die Uhren im Bereich der islamischen Kultur, *Abhandl. der Kaiserl. Leop. Akad.* **100.** Nr. 5. 1915.

in dem *Kitâb al Ḥijal*[1]) usw. In letzterem Fall ist man freilich geneigt, die Nichterwähnung von Einzelheiten in den Schilderungen auf eine Geheimnistuerei zu schieben. Meist dürfte aber der Grund darin zu suchen sein, daß die Verfasser voraussetzen, daß der Leser über gar manche Dinge unterrichtet ist, die uns fremd sind. Auch die Unfähigkeit das eine oder andere zeichnerisch wiederzugeben, mag eine Rolle gespielt haben. Die Technik der Beschreibung von Instrumenten wie deren Zeichnung hat sich eben ganz allmählich zu ihrer jetzigen Vollkommenheit entwickelt. —

Auf Grund der Schilderung von *Ibn Sînâ* selbst und unter Berücksichtigung der Beschreibung zahlreicher astronomischer Instrumente durch verschiedene arabische Gelehrte hoffe ich aber die Angaben *Ibn Sînâ*'s richtig gedeutet zu haben, sodaß die Rekonstruktion des Instrumentes dessen Gedanken ziemlich entsprechen dürfte.

Zum besseren Verständnis der Beschreibung des Instrumentes soll zunächst das Prinzip, auf dem es beruht, erläutert und dann erst die Beschreibung gegeben werden.

1. Prinzip des Instrumentes.

Unsere modernen Meßinstrumente haben zunächst eine gröbere Teilung; Kreise sind in Grade bzw. in halbe Grade usw., gerade Maßstäbe in Millimeter, halbe Millimeter usw. geteilt. Diese Werte können ohne weiteres abgelesen werden. Seitlich von dem Kreis bzw. dem Maßstab sind an einer oder einigen Stellen besondere Vorrichtungen angebracht, Nonien, Mikrometer, an denen die Unterabteilungen der groben Teilung abgelesen werden. Auf demselben Prinzip der Zerlegung der Ablesung in eine gröbere und eine feinere beruht der Fortschritt bei dem Instrument von *Ibn Sînâ*. Zunächst wird, wenn es sich um die Messung einer Höhe von etwa $a^0\, b'$ (a Grad, b Minuten) handelt, das Hauptinstrument auf die Höhe a^0 oder $(a+1)^0$ eingestellt; daß hierbei vielleicht die Teilung nicht die Winkel selbst, sondern deren Sinus gibt, ist gleichgültig. Dann wird mit einer mit dem Instrument verbundenen besonderen Vorrichtung die Größe b' gemessen und so entweder $a^0 + b'$ oder $(a+1)^0 - b'$ erhalten.

Wie man also bei unseren Instrumenten eine Vorrichtung zur Messung kleinerer Teile verwendet, geschieht dies auch bei demjenigen von *Ibn Sînâ.* Dieser äußerst geniale Gedanke ist mir in früherer Zeit nur bei ihm begegnet und gereicht dem großen Philosophen und Arzt zur höchsten Ehre. Leider ist er dann wieder in Vergessenheit geraten und erst viel später in veränderter Form zur Anwendung gekommen.

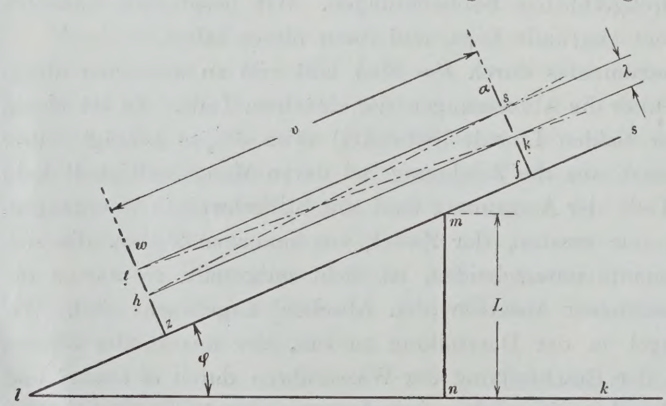


Fig. 1. Schema des Instrumentes.

Man denke sich zunächst in der Fig. 1 den Teil oberhalb von ls fort. Um das Ende l eines horizontalen Stabes lk dreht sich der Stab ls. Man verschiebt auf lk den Stab mn von der Länge L, der stets senkrecht auf lk steht, so lange, bis man den Gegenstand, den Stern, dessen Höhe φ über dem Horizont man bestimmen

[1]) F. Hauser, Über das *Kitâb al Ḥijal* der *Benû Mûsâ. Abhandl. z. Gesch. d. Naturwissensch. u. d. Medizin.* Heft 1. 1922.

will, längs ls erblickt. Es gelten dann die Gleichungen $\sin\varphi = L/lm$ und $\sin(90 - \varphi) = ln/lm$. Bei bekanntem L kann man aus der ersten Gleichung $\sin\varphi$ berechnen. Da aber L klein ist, so ziehen kleine Fehler in L große prozentische Fehler in $\sin\varphi$ nach sich. Man würde daher besser ln und lm messen; dadurch können aber zweimal Messungsfehler entstehen. Diese Betrachtungen setzen auch voraus, daß ls und lk beide mit einer Teilung in gleiche Teile versehen sind. Die Teilung ist aber so eingerichtet, daß man auf ihr die Grade 1^0, 2^0 usw. abliest, die bestimmten Stellen von L entsprechen. Wahrscheinlich benutzte man zwei verschiedene Stäbe mn (L), denen auch zwei Teilungen entsprechen. Ist also etwa die Höhe $\varphi = 5^0$, so würde mn auf den Teilstrich lk, der 5^0 entspricht, fallen; wäre φ aber etwas größer oder kleiner als 5^0, so wäre das nicht der Fall; mn müßte verschoben werden und man müßte gemäß seiner Lage zwischen dem Teilstrich für 5^0 und 6^0 bzw. 4^0 durch Interpolation den betreffenden Winkel ermitteln. So ließe sich aber keine große Genauigkeit erzielen.

Auf ls seien nun zwei Aufsätze wz und af mit den beiden Löchern ḥ und ṭ, bzw. ṣ und ḳ angebracht; sie liegen auf beiden Aufsätzen genau gleich und die Strecken ḥṭ bzw. ṣḳ sind gleich, etwa gleich λ. Dabei wird wz fest mit ls verbunden, während sich af längs ls verschieben läßt. Man sucht die beiden benachbarten Stellen von mn, bei denen beim Anvisieren des Sternes durch ṭṣ oder durch ḥḳ, d. h. parallel zu ls, der Stern erstens oberhalb, zweitens unterhalb der Sehrichtung liegt. Es entspräche dies den Winkeln φ_1 und φ_2 von ls gegen lk. Im ersten Fall visiert man dann über ḥṣ und ändert die Lage von af gegenüber von wz so lange, bis man gerade den Stern wieder erblickt; der Abstand von wz und af sei dann v_1. Die Visierlinie ḥṣ ist dann gegen ls um einen Winkel β_1 geneigt, wobei sehr nahe $\sin\beta_1 = \lambda/v_1$ ist. Im zweiten Fall visiert man über ṭḳ und findet analog eine Depression gegen ls von β_2, wo $\sin\beta_2 = \lambda/v_2$. Statt daß man β_1 und β_2 berechnet, kann auch auf ls eine Teilung angebracht sein, an der man die Sinus oder die Winkel abliest. *Ibn Sînâ* hat nun entweder gebildet $(\sin\varphi_1 + \sin\beta_1)$ bzw. $(\sin\varphi_2 - \sin\beta_2)$ und dann $\varphi_1 + \beta_1$ bzw. $\varphi_2 - \beta_2$ berechnet oder aber ohne weiteres $\varphi_1 + \beta_1$ und $\varphi_2 - \beta_2$ ermittelt. Auf die besonderen Eigenheiten der Teilung, daß diese dem Sinus entspricht usw., kann hier nicht eingegangen werden.

Wie vermieden wird, daß ṭḳ den Schenkel ls schneidet, werden wir bei der Beschreibung des Instrumentes sehen.

2. Beschreibung des Instrumentes. (Fig. 2a und 2b.)

Das Instrument besteht aus zwei Stäben ls und lk (Schenkeln, *Misṭar*). Die Verbindung der beiden Schenkel unseres Instrumentes geschieht, wie diejenige der beiden Schenkel eines Zirkels geschah, durch Scharniere, die den unsrigen für diesen Zweck ganz ähnlich waren. [Vgl. E. Wiedemann, Zeitschr. f. Verm. 1910, Heft 22 u. 23 und Beiträge VI, Sitzungsber. der physikalisch-med. Sozietät Erlangen, Bd. 38, S. 83, 1906.] Die beiden Schenkel haben einen genau rechteckigen Querschnitt; die einander zugekehrten

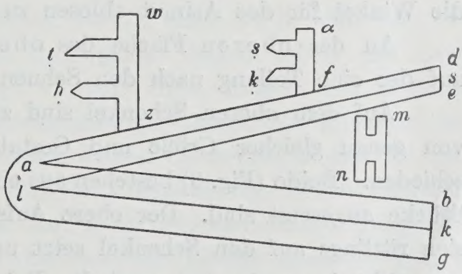


Fig. 2a. Bild des Instrumentes nach dem arabischen Original.

Flächen sind vollkommen bis auf einen Grat bzw. eine Nut eben. Dabei sind sie so durch das Scharnier verbunden, daß sie beim Zusammenklappen sich vollkommen berühren. Da der obere Schenkel auch als der leichtere bezeichnet wird, so ist seine

Höhe kleiner als die des unteren. Die Querdimensionen mußten gleich sein. Die beiden Schenkel sind entweder gleich lang oder der untere ist etwas länger. In dem überschießenden Teil wird eine viereckige Höhlung *h* mit senkrechten Wänden angebracht. Wird sie mit Wasser gefüllt und steht dieses an allen Stellen mit der oberen Fläche gleich, so ist diese horizontal. Das Horizontieren kann auch durch eine Setzwage (*Shâkûl*) geschehen, die auf den unteren Schenkel aufgesetzt ist. Besonders scheint darauf geachtet zu sein, daß auch die untere Fläche von *l k* vollkommen eben und der oberen parallel ist, damit, wenn das Instrument auf eine horizontale Fläche gestellt wird, die obere Fläche ohne weiteres horizontal wird.

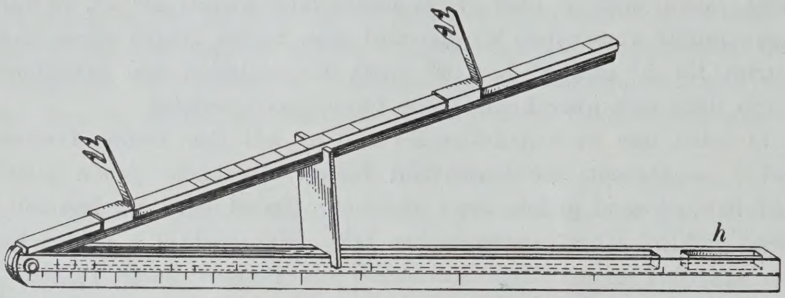


Fig. 2b. Rekonstruktion des Instrumentes.
Am Ende des unteren Schenkels ist die im Text erwähnte Höhlung *h*, die in der Figur des arabischen Textes fehlt. Die Teilung am oberen Schenkel ist vielleicht an der Seitenfläche angebracht; statt der Striche sind möglicherweise Punkte verwendet.

Auf dem unteren Schenkel *l k* ist auf der Seitenfläche parallel zu einer der Längskanten, etwa in der Mitte, eine Linie *l k* gezogen. An ihr oder auf der oberen Fläche des Schenkels ist eine Teilung nach den Sehnen angebracht. Da bei den Arabern vielfach die halbe Sehne des doppelten Winkels an Stelle des Sinus benutzt wird, so handelt es sich wohl um eine Teilung nach den Sinus des Öffnungswinkels des Instrumentes. Da die Öffnung durch das Verschieben einer gleich zu beschreibenden Vorrichtung erfolgt, so muß die Teilung von rechts nach links erfolgen, d. h. vom Ende der Schenkel nach deren Drehpunkt zu. Wir erhalten eine Reihe von Teilstrichen bzw. Punkten mit beigeschriebenen Zahlen, die jeweilig bestimmten Werten der Winkel entsprechen. Damit die Ablesungen richtige Werte ergeben, sind die Striche und Punkte möglichst fein.

Das Ende des unteren Schenkels ist wahrscheinlich zugespitzt bzw. mit einer Spitze versehen, um an einem horizontalen Kreis auf der später erwähnten Ringmauer die Winkel für das Azimut ablesen zu können.

An der oberen Fläche des oberen Schenkels *l s* ist auch eine Linie gezogen, auf der eine Teilung nach den Sehnen angebracht ist.

Auf dem oberen Schenkel sind zwei Aufsätze befestigt, *w z* und *α f*, beide sind von genau gleicher Größe und Gestalt. Die Figur im Text zeichnet sie irrig verschieden. Beide (Fig. 3) bestehen aus einem senkrechten Stück, an das seitlich je zwei Stücke angesetzt sind. Der obere Aufsatz muß unten so ausgeschnitten sein, daß er sich rittlings auf den Schenkel setzt und sich so streng auf ihm verschiebt, daß er gar nicht im geringsten wackelt. Bei dem oberen Aufsatz ist noch besonders dafür Sorge getragen, daß er stets senkrecht steht, also nicht kippt. Die Enden der Ansätze *ḥ ṭ* und *ṣ k* bilden Spitzen; in die Flächen der Ansätze sind die bekannten Löcher der Absehen gebohrt. Die beiden Spitzen bzw. die beiden Löcher jedes Aufsatzes müssen genau übereinander liegen und bei beiden Aufsätzen genau in der

gleichen Höhe über der Oberfläche des Schenkels sich befinden. Lichtschwache Gegenstände wird man allgemein und lichtstarke zur Orientierung über die beiden Spitzen anvisieren; sie vertreten gleichsam das Sucherfernrohr, das mit unseren großen Fernrohren verbunden ist. Zur feineren Messung dienen dann die Löcher. Die so an den senkrechten Platten, die den Absehen entsprechen, angebrachten seitlichen Ansätze finden sich bei keinem anderen mir bekannten Instrument.

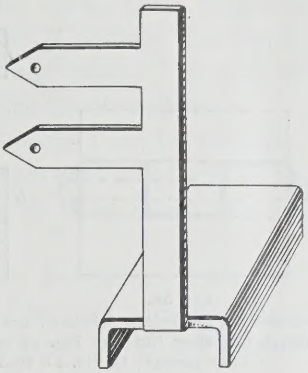


Fig. 3. Rekonstruktion des Aufsatzes mit dem Absehen.

Ein Vorteil dieser Anordnung ist, daß man den Kopf bei der Beobachtung nicht über das Instrument zu beugen braucht, was sehr unbequem sein kann. Man blickt vielmehr seitlich längs des oberen Schenkels parallel zu ihm nach dem Gegenstand. Aus dem früheren ergibt sich, daß man zu bestimmten Messungen durch das obere bzw. untere Loch des unteren Aufsatzes und das untere bzw. obere Loch des oberen Aufsatzes visieren muß. Ersteres ist stets möglich, auch wenn diese Löcher in der Mittellinie des Aufsatzes sich befinden, letzteres aber nur in besonderen Fällen, da meist die Sehlinie den Schenkel *l s* schneiden wird. Das ist bei den seitlich angebrachten Löchern vermieden. Zwischen den beiden Schenkeln verschiebt sich dann die Vorrichtung *m n*. Über die Größe dieser Verschiebungsleiste ist nichts angegeben (Fig. 4). Die beiden Ausschnitte sind so gestaltet, daß sie genau die beiden Schenkel umfassen. Der untere greift dabei bis zur Linie *l k*. Dadurch, daß seine untere Kante, die jedenfalls ziemlich lang ist, was einem dicken Körper *m n* entspricht, stets mit *l k* in Berührung bleibt, ist seine senkrechte Stellung gewährleistet. Ein Rand des Einschnittes bei *m* dient als Index an der Teilung längs *l s*.

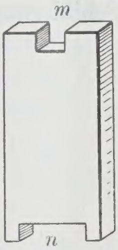


Fig. 4. Verschiebungsleiste.

Ibn Sînâ hat wahrscheinlich, obwohl er davon nichts angibt, zwei Verschiebungsleisten benützt, die eine kürzere, für Winkel etwa bis zu 15°, die zweite, längere, für größere Winkel. Bei den angenommenen Dimensionen des Instrumentes mußte der Abstand zwischen den tiefsten Punkten der Einschnitte, d. h. die Größe *m n*, im ersten Fall 15 cm, im zweiten 80 bis 90 cm sein. Bei zwei Leisten muß auf dem unteren Schenkel eine doppelte Teilung angebracht sein. —

Über die Art, wie die einander gegenüberstehenden Flächen sich aneinander anfügen, müssen noch einige Bemerkungen gemacht werden. — An einer Stelle wird von *Ibn Sînâ* erwähnt, daß die beiden Schenkel genau aufeinander liegen sollen und dazu soll auf den unteren Schenkel ein Brett gelegt werden. Diese Angabe bot zunächst dem Verständnis scheinbar unüberwindliche Schwierigkeiten. Durch die folgende Anordnung, die mir von Herrn Ziegler vorgeschlagen wurde, dürfte sie, soweit die Angaben des Textes es gestatten, gehoben sein. Auf der Unterseite des oberen Schenkels befand sich ein Grat *g* (Fig. 5a und b), dem eine Nut *n* im unteren Schenkel entspricht. Den Arabern war es möglich, durch Befestigen (Anleimen oder Löten) eines viereckigen schmalen Stabes einen solchen Grat *g* herzustellen. Dagegen ist es unwahrscheinlich, daß sie eine $3^1/_2$ m lange Nut mit der erforderlichen Genauigkeit in einen dicken Körper, sei es aus Metall, sei es aus Holz, einschneiden konnten. Um diese Schwierigkeit zu überwinden, wurde auf der oberen Fläche des unteren Schenkels eine dünne entsprechend ausgeschnittene Platte befestigt oder aber zwei Platten *b*, deren ein-

ander zugewandte Kanten genau parallel lagen und die so die Nut bildeten. Diese hielt dann den oberen Schenkel fest und sorgte auch dafür, daß er sich beim Aufheben nicht seitlich verschob.

Über den Stoff, aus dem *Ibn Sînâ* sein Instrument gefertigt hat, macht er keine Angaben; doch bestand es wohl wie alle großen Intrumente aus Kupfer oder Messing. Holz würde zu wenig sicher seine Gestalt beibehalten und auch nicht eine hinlänglich feine Teilung zulassen. Abmessungen mit dem Zirkel wären jedenfalls fehlerhaft geworden. (Zur Herstellung sehr großer Ringe vgl. die Instrumente von *al Afḍal.*)

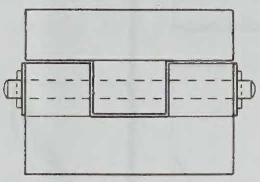
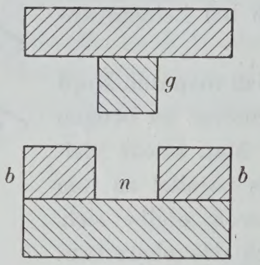


Fig. 5a.



Fie. 5b.

Querschnitt der beiden Schenkel, der obere mit einem Grad, der untere mit einer Nut. In Fig. 5a ist auch die Verbindung am Ende gezeigt; in Fig. 5b sind die Schenkel nicht zusammengeklappt.

Die Schilderung der **Aufstellung** des Instrumentes ist sehr skizzenhaft; es ist eigentlich nur das Prinzip angedeutet, das der Konstruktion zugrunde liegt. Würde man es, wie es zunächst nach dem Text scheinen könnte, mit dem untern Schenkel auf den Erdboden selbst stellen, so ist nicht recht einzusehen, wie der Beobachter seine Messungen anstellen soll; er müßte sich denn platt auf den Boden legen. In möglichstem Anschluß an die Angaben des Textes von *Ibn Sînâ* und an die Schilderung der Instrumente aus *Maġâra,* sowie an Rekonstruktionen von Prof. Frank

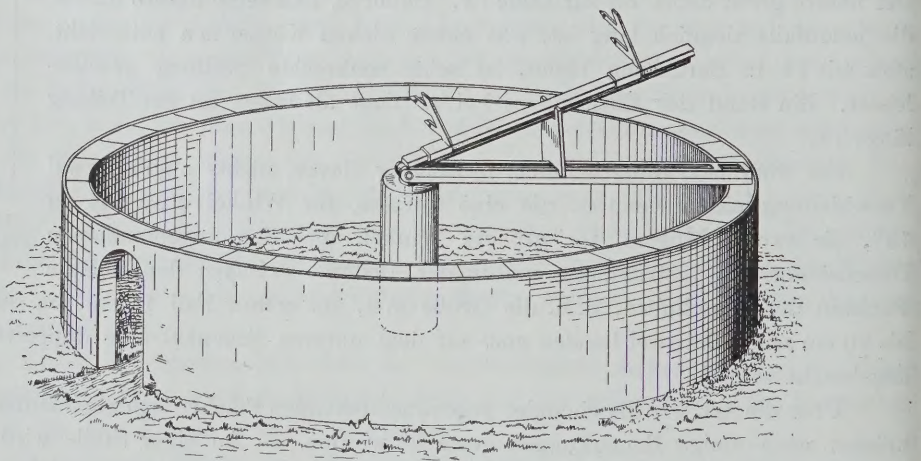


Fig. 6. Gesamtansicht des Instrumentes mit seiner Aufstellung.

ergibt sich der folgende Aufbau des Instrumentes (Fig. 6) als der wahrscheinlichste. Eine Bodenfläche, deren Durchmesser über 7 m beträgt, wird möglichst eben und horizontal gemacht. In ihrer Mitte erhebt sich ein runder Pfeiler von vielleicht 1 m Durchmesser. Seine obere Fläche ist eben und horizontal. In einem entsprechenden Abstand wird um den Pfeiler eine ringförmige Mauer aufgeführt. Auch deren obere Fläche ist genau eben und horizontal; auf diese wird dann ein geteilter Kreisring gelegt. Die Mauer ist so hoch, daß, wenn das Winkelinstrument auf den Pfeiler gesetzt wird, die untere Fläche des unteren Schenkels gerade auf der Teilung gleitet. Daß die Fläche des mittleren Pfeilers und der Ringmauer genau gleich hoch sind, kann man z. B. mittels des *Qubṭâl* (cubitale) bestimmen, der von *Ibn Luyûn* (vgl. Beitr. X, S. 317) beschrieben

ist. Man legt einen entsprechend langen dicken Stab, dessen ebene Ober- und Unterfläche genau parallel sind, auf den Pfeiler und die Ringmauer und setzt ihn auf eine Setzwage. Spielt diese ein, so ist der *Qubṭâl* horizontal und die beiden Flächen liegen in gleicher Höhe.

In der Mitte der Fläche des Pfeilers wird eine eiserne runde Achse eingesetzt und wahrscheinlich mit Blei eingegossen (Beitr. X, S. 328 und LII, S. 180). Ihr Durchmesser ist so groß, wie derjenige eines Loches in dem unteren Schenkel. Es muß sich dieses genau unter der Achse, um die der obere Schenkel sich dreht, befinden.

Durch eine Öffnung in der Ringmauer können die Beobachter in den Zwischenraum zwischen Mauer und Pfeiler gelangen und dann das Instrument in jedes beliebige Azimut einstellen. Eine Leiter im Zwischenraum gestattet es auch, Messungen bei großen Neigungen anzustellen.

Daß bei Beobachtungen mit diesem Instrument mehrere Beobachter zusammenarbeiten mußten, liegt auf der Hand; einer mußten z. B. die bei fast allen Messungen nötigen Ablesungen an der Wasseruhr vornehmen. Nicht umsonst hatte daher *Naṣîr al Dîn al Ṭûsî* in *Maġâra* einen ganzen Stab von Gelehrten um sich versammelt. Eine eingehende Schilderung des Zusammenarbeitens von drei Beobachern gibt *Ibn al Haiṯam* in seiner Schrift „Über eine Methode, die Polhöhe möglichst genau zu bestimmen“ (vgl. C. Schoy, de Zee 1920, S. 587). Ferner hat *Ibn Jûnus* die Vor- und Nachteile von Beobachtungen durch einen einzelnen und durch mehrere geschildert (vgl. E. Wiedemann im *Sirius* a. a. O.).

Zu den Messungen muß man die Richtung der Meridianlinie kennen. Dazu wird, wie üblich, in der Mitte eines Kreises ein senkrechter Stab, ein Gnomon, aufgestellt. Die Stelle *a* des Eintritts des Schattens *E* der Spitze des Gnomons in den Kreis und die Stelle *b* des Austritts aus diesem wird bezeichnet und die Mitte des Bogens *a*—*b* ermittelt. Diese wird dann mit dem Mittelpunkt durch eine gerade Linie, die Meridianlinie, verbunden. Das Ganze heißt der Indische Kreis. *Ibn Sînâ* trägt noch der Bewegung der Sonne im Tierkreis Rechnung.

Die Art, in der das Gnomon (Fig. 7) genau senkrecht gestellt wird, ist äußerst sinnreich. Dadurch, daß in das Gnomon *G* eine zu seiner Achse senkrechte kreisförmige Rinne *R* eingeschnitten wird, mit der dann eine Wasseroberfläche *W* in einem Gefäß *S* mit ebenem Rand zur Deckung gebracht wird, erreicht *Ibn Sînâ* in sinnreicher Weise, daß das Gnomon genau senkrecht steht. Ebenso erreicht er dadurch, daß die Wasseroberfläche genau mit dem Rand gleich stehen soll, eine genaue Horizontalität des letzteren; der Einschnitt im Gnomon und der Rand haben etwa die gleichen Abstände vom Boden des Gefäßes.

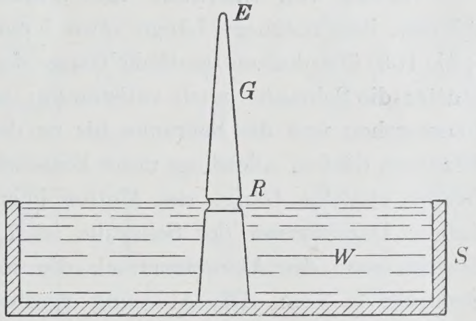


Fig. 7. Wassergefäß mit Gnomon.

Die Gestalt der Vorrichtung dürfte etwa die von Fig. 7 gewesen sein. Sehr fein beobachtet ist die Notwendigkeit, daß das Wasser im Gefäß trübe oder gefärbt ist. Auch diese Angaben beweisen die hochentwickelte und geschulte Beobachtungsgabe der Muslime. *Ibn Sînâ* sagt nämlich: Das reine Blau täuscht das Auge darüber, ob die Wasseroberfläche mit der Rinne zusammenfällt. Manchmal fallen sie zusammen und man meint, das sei nicht der Fall, und manchmal fallen sie nicht zusammen und man meint, daß dies der Fall ist. —

Eine Schraubenprüfung.

Von
A. Repsold in Hamburg.

Die Mitteilung des Ergebnisses einer vor mehr als einem Jahrzehnt unternommenen Prüfung der Schraube des auf der Göttinger Sternwarte befindlichen Töpferschen Meßmikroskops ist vielleicht deshalb nicht ganz überflüssig, weil dadurch an einem Beispiel gezeigt wird, in welch hervorragender Güte sich eine Schraube herstellen läßt und welcher Grad von Genauigkeit und Sicherheit sich bei sorgfältigsten Messungen mit einer solchen Schraube erzielen läßt, was zu wissen u. U. von Wert sein kann. Der Zweck der Untersuchung war allerdings ursprünglich kein selbständiger. Es sollten vielmehr mit dem Instrument Spektrogramme von α Orionis ausgemessen werden, die J. Hartmann am großen Potsdamer Refraktor (80 cm Objektiv) aufgenommen hatte[1]). Aus diesem Grunde ist auch die Untersuchung nicht so weit durchgeführt worden, wie es wohl, wenn man nur die Leistungen der Schraube und des ganzen Instrumentes betrachten wollte, wünschenswert gewesen wäre.

Das Göttinger Meßmikroskop unterscheidet sich vom Potsdamer (*Potsd. Publ. Bd. VII, Teil 1*) durch eine Vermehrung der mechanischen Einrichtungen, die dem Zwecke dienen, die Handhabung des Instrumentes, insbesondere das Einlegen und Justieren der Platten, zu erleichtern; jedoch birgt die Vermehrung der beweglichen Teile auch die Gefahr neuer Fehlerquellen in sich. Die Notwendigkeit der Neubestimmung der Schraubenfehler hatte vorgelegen, da die durch langen Gebrauch stark abgenutzte Schraube vom Mechaniker Otto Töpfer in Potsdam hatte nachgeschliffen werden müssen. Gleichzeitig waren Mutter und Widerlager (aus gehärtetem Stahl) erneuert worden. Die Schraube war demnach als neu anzusprechen; vielleicht ist sogar der Umstand, daß sie tatsächlich nicht neu, sondern nur sorgfältig und wahrscheinlich langdauernd nachgeschliffen worden ist, ursächlich geworden für den, soweit mir bekannt geworden ist, durchaus ungewöhnlichen Grad von Fehlerfreiheit.

Größe von Schraube und Ablesetrommel. Die Ganghöhe der Schraube ist 0,5 mm, ihre nutzbare Länge etwa 5 cm. Über diese Strecke von 5 cm (Ablesungen 3 bis 103) überdecken sämtliche Gänge der etwa 7 bis 8 mm langen nicht aufgeschnittenen Mutter die Schraube noch vollständig; ausnahmsweise wird man über diesen Bereich hinausgehen und die Schraube bis zu den Ablesungen 1 und 110 oder höchstens 115 benutzen dürfen, allerdings unter Einschränkung der Sicherheit der Messungen, da dann bereits einzelne Gänge der Mutter über die Enden der Schraube hinausragen. Der äußere Durchmesser der Schraube ist 7,75 mm, ihr innerer (die Spindel) 7 mm. Der Durchmesser der Ablesetrommel, die in 100 Teile geteilt ist, ist 5 cm, ihr Umfang demnach 15,7 cm. Die Ablesung geschieht mit Index und Nonius, der Index gestattet also die 2. Dezimale der ganzen Umdrehung unmittelbar abzulesen, die Striche des Nonius geben die 3. Dezimale, während die 4. Dezimale zwischen den Strichen des Nonius geschätzt werden mußte; die Noniusangaben wurden also durch nochmalige Zehntelschätzung unterteilt. Die Breite der Striche auf Ablesetrommel und Nonius ist $\frac{1}{1000}$ des Trommelumfanges, d. h.: 0,157 mm oder $\frac{1}{10}$ der Intervallbreite. Der Zweck des Nonius und die zwischen dessen Strichen ausgeführte Schätzung der 4. Dezimale ist der, die Schraubenuntersuchung bei 200-facher Vergrößerung mit einer Genauigkeit

[1]) A. Repsold, Das Spektrum von α Orionis. Dissertation, Göttingen 1918. (Handschrift!)

ausführen zu können, die wesentlich größer ist, als sie bei den späteren Messungen, für die das Instrument bestimmt ist (vorwiegend Spektralmessungen), erreichbar ist. Im vorliegenden Falle sollten dem Material der Spektrogramme entsprechend unter Verwendung viel geringerer Vergrößerungen alle Einstellungen mit 3 Dezimalen niedergeschrieben werden. Um nun diese 3. Dezimale fehlerfrei — soweit es das Instrument angeht — angeben zu können, war es wünschenswert, bei der Fehlerbestimmung der Schraube die 4. Dezimale mitzuverwenden. Damit ist zugleich die Möglichkeit einer sicheren Abschätzung der Fehler gegeben, die bei Gebrauch des Instrumentes zu erwarten sind. Um zu zeigen, welcher Wert diesen Schätzungen der 4. Dezimale der ganzen Schraubenumdrehung zukommt (also 1 Einheit der 4. Dezimale = 0,0001 Umdrehung = 0,00005 mm), ist das gesamte vorliegende Material der Zehntelschätzungen zusammengefaßt und ausgezählt worden. Ich mache im folgenden hiervon Mitteilung, da, soweit mir bekannt geworden ist, von anderer Seite Angaben über solche Schätzungen zwischen Noniusstrichen nicht gemacht worden sind.

Zehntelschätzungen. Es konnten zur Untersuchung 5749 Schätzungen herangezogen werden, die zunächst in zwei größere, durch einen Zeitraum von reichlich 5 Monaten getrennte Gruppen von 3822 und 1927 Schätzungen zerfallen. Die erste dieser Gruppen zerfällt wieder — durch eine längere Pause unterbrochen — in zwei kleinere Gruppen oder Reihen von 1630 und 2192 Schätzungen; auch die zweite Gruppe wurde, um ihren inneren Wert festzustellen, noch einmal in zwei Reihen geteilt. Für diese vier Reihen sind die Häufigkeiten H der Schätzungen in Prozenten für die geschätzten Ziffern in der folgenden Tabelle gegeben — eine deutlichere Vorstellung gewinnt man allerdings erst nach Auftragung auf Millimeter-Papier.

Geschätzte Ziffer	1. Gruppe				2. Gruppe			
	1. Reihe	2. Reihe	1. + 2. Reihe		1. Reihe	2. Reihe	1. + 2. Reihe	
	H	H	H	K	H	H	H	K
	in Prozenten		in Proz.	Einh.: 4. Dez.	in Prozenten		in Proz.	Einh.: 4. Dez.
0	29,1	23,5	25,9	0	18,3	19,8	18,8	0
1	15,0	13,6	14,2	+ 1,01	9,4	9,7	9,5	+ 0,42
2	5,6	6,8	6,3	+ 1,03	6,3	5,6	6,1	+ 0,20
3	4,6	6,2	5,5	+ 0,62	6,3	5,6	6,1	— 0,20
4	6,1	6,0	6,1	+ 0,20	14,7	16,4	15,3	— 0,13
5	6,2	6,3	6,3	— 0,18	7,0	5,6	6,5	— 0,04
6	6,7	7,7	7,3	— 0,51	14,3	14,2	14,3	0,00
7	4,6	7,9	6,5	— 0,82	5,4	5,2	5,3	— 0,02
8	7,7	9,0	8,5	— 1,07	6,4	7,8	6,9	— 0,42
9	14,3	13,0	13,5	— 0,97	12,0	10,0	11,3	— 0,51
0	29,1	23,5	25,9	0	18,3	19,8	18,8	0
Zahl der Schätzungen	1630	2192	3822		1287	640	1927	

Der auffällige Unterschied zwischen den Schätzungen der ersten und der zweiten Gruppe rührt daher, daß vor Beginn der Messungen der zweiten Gruppe eine Auszählung der Schätzungen der ersten Gruppe erfolgte, so daß die Abweichung offenbar der Kenntnis der Verteilung der Schätzungen der ersten Gruppe zuzuschreiben ist. Während der Messungen der ersten Gruppe hat keine Kenntnis der Verteilung der Schätzungen vorgelegen. Charakteristisch für die Schätzungen dieser ersten Gruppe ist die sehr starke Anhäufung um die Null herum, während zwischen 2 und 8 keine besonders auffallende Schwankung zu bemerken ist. Beachtenswert ist vielleicht nur

noch der schwache Anstieg der Zahlen von 2 bis 8, sowie das Auftreten der schwachen Minima bei 3 und 7, sowie auch bei 5 — eine Andeutung für die stark ausgeprägten Schwankungen der zweiten Gruppe. Daß das Material zur Mittelbildung vollkommen ausreichend war, zeigen die zwei Reihen dieser ersten Gruppe, die sich in ihren Hauptzügen durchaus gleichen, jedoch darin unterscheiden, daß das Maximum bei 0 in der zweiten Gruppe niedriger ist als bei der ersten, wohl wegen zunehmender Übung im Beobachten. —

Das Material der zweiten großen Gruppe weist eine bemerkenswerte Konstanz auf; denn die beiden Reihen, in die das Material zerlegt wurde, lassen keine auffallenden Verschiedenheiten erkennen. Das Maximum bei 0 ist jetzt lange nicht mehr so hoch wie zu Anfang (18,8 %$_0$ statt 29,1 %$_0$). Dagegen zeigt sich nun eine starke Anhäufung bei 4 und 6, während die 5 nicht häufiger als früher geschätzt wurde. Diese offenbare Scheu vor der 5 mag dadurch hervorgerufen sein, daß mir bekannt war, daß die meisten Beobachter (besonders wenn es sich um Ablesungen geringerer Genauigkeit handelt), die 5 stark zu bevorzugen pflegen. In dem Bestreben, möglichst richtig zu schätzen, werden bei der Mittenstellung der 5, die kleinste Abweichungen zu sehen erlaubt, solche Abweichungen ihrem Größenbetrage nach überschätzt worden sein und dadurch häufig die Schätzungen 4 und 6 entstanden sein, wo es statt dessen eine 5 hätte sein müssen. Im ganzen wird die Mitte, d. h. die Summe der Häufigkeiten der geschätzten Ziffern 4, 5, 6 mit zusammen 36 %$_0$ etwas übernormal bevorzugt. Die 7 und die 3 (mit 2 in genau gleicher Anzahl) treten wieder als Minima auf.

Man kann diese Häufigkeitszahlen noch etwas anders deuten. Nimmt man nämlich an, daß die Schätzungen einer bestimmten Ziffer stets innerhalb eines fest begrenzten Bereiches fallen, und daß die Schätzungen der benachbarten Ziffern nicht teilweise in diesen Bereich übergreifen, sondern ausnahmslos außerhalb fallen, nimmt man ferner an, daß die Mitte des Nullbereiches mit der wirklichen Nullstellung des Nonius übereinstimmt, so werden innerhalb eines Intervalles gleich $\frac{1}{100}$ des Trommelumfanges durch die Zahlen H ganz bestimmte Bereiche für die einzelnen geschätzten Ziffern abgegrenzt. Die Abstände der Mitten dieser Bereiche von den zugehörigen Zehntelstrichen des ganzes Intervalles können dann als mittlere Korrektionen für die geschätzten Ziffern gedeutet werden. Diese Werte sind in Einheiten der 4. Dezimale für die erste und zweite Gruppe unter K den Zahlen H hinzugefügt. Unter der Annahme, daß im Mittel die Null richtig geschätzt wurde, geben sie also an, um welchen mittleren Betrag die Schätzungen falsch sind. Im vorliegenden Falle ist allerdings die Anbringung einer solchen Korrektion zwecklos. — Eine weitere Verbesserung der Zehntelschätzungen am Nonius hätte sich leicht erreichen lassen, wenn nach Untersuchung der Verteilung der letzten Schätzungen diese fortgesetzt wären. Man könnte auf diese Weise zu immer kleineren Schätzungsfehlern gelangen, falls es etwa für irgendeinen Zweck nötig sein sollte. Die Auswertungen zeigen jedenfalls, daß Zehntelschätzungen zwischen den Strichen eines Nonius bei einiger Sorgfalt sehr wohl zu guten Resultaten führen können und daher, wenn erhöhte Ablesegenauigkeit wünschenswert ist, durchaus zu empfehlen sind.

Anordnung der Messungen.

1. Untersuchung auf fortschreitende Fehler. Diese wurde in der meist üblichen Weise durch Teilung in gleiche Intervalle ausgeführt. Die Intervalle wurden auf einem auf Glas photographierten Maßstab gewählt. Die verwandte Vergrößerung war 200-fach. Die Einstellung der Striche geschah zwischen verstell-

baren Doppelfäden, deren Entfernung nicht zu gering gewählt werden durfte, da infolge einer eigentümlichen Beugungserscheinung bei stärkerer Vergrößerung die Fäden von durchsichtigen Hüllen umgeben sind, die das Bild des photographierten Striches, wenn dieses den Fäden zu nahe kommt, teilweise zu verdecken oder zusammenzudrücken scheinen, wodurch die Einstellungen unsicher werden. Die Erscheinung, die nicht allzu leicht bemerkt werden kann, zeigt sich auch bei Verwendung von Diamantstrichen; auch hier mußte (bei 200-facher Vergrößerung) die Entfernung der Doppelfäden ziemlich weit gewählt werden. Die bei schwachen Vergrößerungen üblichen feinen Lichtlinien zwischen Faden und Strich würden in diesen Fällen zu ganz ungenauen Resultaten führen. Verstellbarkeit des Abstandes der Doppelfäden ist daher hier wie auch in manchen anderen ähnlichen Fällen unbedingt notwendig. Die photographierten Striche, die bei der starken Vergrößerung zwar breit, aber trotzdem scharf und schön schwarz aussahen, waren im übrigen wegen der Leichtigkeit ihrer Einstellung im Vergleich zu der viel größeren Anstrengung der Einstellung auf Diamantstriche zum Messen vorzüglich geeignet. Da auch die Sicherheit der Einstellung nicht geringer als bei Diamantstrichen war, wird man, wenigstens in Fällen wie dem vorliegenden (200-fache Vergrößerung, verstellbarer Abstand der Doppelfäden), die Benutzung der breiten photographierten Striche den feinen Diamantstrichen weit vorziehen. — Die ganze Länge der Schraube von den Ablesungen 3 bis 103 wurde nun zunächst in vier gleiche Teile geteilt, jedes derselben nochmals in fünf Teile. Um gelegentlich auch über längere Strecken messen zu können, wurde an das vierte Intervall (78, 103) der Hauptteilung noch das Intervall (103, 108) der Unterteilung angeschlossen. Der Verlauf des fortschreitenden Fehlers machte es schließlich noch wünschenswert, das Stück zwischen 88 und 98 abermals in fünf Teile zu teilen. Hiervon abgesehen liegt demnach eine Fehlerbestimmung für um fünf Umdrehungen auseinanderliegende Punkte zwischen S 3 und S 108 vor (S = Schraubenablesung). Die Messungen wurden so ausgeführt, daß das auf dem Maßstab gewählte Intervall gegen die jeweilige Ablesung der Schraubenskala zwecks Unschädlichmachung etwaiger periodischer Fehler in der üblichen Weise um $-\frac{1}{4}$ und $+\frac{1}{4}$ Umdrehung versetzt wurde, und daß auf jeden Endstrich des Intervalles fünfmal eingestellt wurde. Es entfallen also auf die Ausmessung jedes einzelnen Intervalles in jeder Messungsreihe je 20 Stricheinstellungen zwischen Doppelfäden. Die Hauptteilung wurde sechsmal durchgemessen, die Unterteilungen je zweimal.

2. Untersuchung auf periodische Fehler. Diese wurde nach Bessels Verfahren durchgeführt, und zwar an Stellen der Schraube, die, um ungleichmäßige Abnutzung durch häufiges Einstellen auf stets gleiche Stellen der Schraube zu vermeiden, in den Mitten zwischen den Punkten der Hauptteilung lagen, also bei 15, 40 und 65 für die drei ersten Intervalle, dagegen bei 85 und 100 innerhalb des letzten Intervalls: bei 85, da hier etwa — in bezug auf fortschreitende Fehler — das Ende des vollkommenen Stückes der Schraube lag, und bei 100, um noch am Ende der Schraube eine Bestimmung des periodischen Fehlers zu bekommen. Da sich bald zeigte, daß die periodischen Fehler so klein waren, daß sie weit unterhalb der für die beabsichtigten Spektralmessungen zulässigen Grenze lagen, beschränkte ich mich darauf, mit einem Intervall von $\frac{1}{2}$ Umdrehung (0,25 mm) an jeder der bezeichneten Stellen nur eine einzige Umdrehung durchzumessen. Eine Nachprüfung der Messungen durch Wiederholung liegt also nicht vor; trotzdem ist, wie sich später zeigen wird, an der Zuverlässigkeit der erhaltenen Werte nicht zu zweifeln. In diesem Falle waren die Intervallstriche mit dem Diamanten auf Glas geritzt. Die Vergrößerung war wie bei

den Messungen des fortschreitenden Fehlers 200-fach; auch wurde wie dort auf die Intervallstriche je fünfmal eingestellt.

Bemerkt werden muß hier noch, daß auch das thermische Verhalten des Instruments auf das sorgfältigste untersucht worden ist, und daß selbstverständlich auch während jeder Messungsreihe die Temperaturen genau beobachtet worden sind; auch die Erwärmung des Instrumentes durch den Körper des Beobachters (die einstellende Hand und der seitlich die Trommelskala ablesende Kopf) durfte nicht außer acht gelassen werden. Eine Verfälschung oder Verzerrung der Ergebnisse durch Temperaturbewegungen ist, wie behauptet werden kann, sicher nicht eingetreten.

Strich- und Intervallfehler.

Als Fehler der Stricheinstellung auf photographisch hergestellte Striche gewann ich aus $5 \times 284 = 1420$ Einstellungen mittlere Fehler, die zwischen den Werten 0 und 3,05 lagen (Einheit hier und im folgenden wieder 0,0001 Umdrehung = 0,00005 mm) und im Mittel dieser 284 m. F. den Wert **1,234** ergaben. Entsprechend folgten aus $5 \times 120 = 600$ Einstellungen auf Diamantstriche m. F. zwischen 0,45 und 2,30 und als Mittel aller 120 m. F. der Wert **1,206**. Diese sehr kleinen Strichfehler, die — ein einwandfrei arbeitendes Instrument wie das benutzte vorausgesetzt — wesentlich nur von der Geschicklichkeit des Beobachters abhängen und die sogenannte Einstellungssicherheit bei wiederholten Einstellungen auf denselben Strich darstellen, sagen aus, daß Auge und Hand nahezu vollkommene Sicherheit bei Einstellung und Ablesung erreichten, daß also nennenswerte Fehler aus dieser Veranlassung nicht zu befürchten waren.

Als Fehler eines Intervalls ergaben sich Werte, die für die Intervalle der Hauptteilung wesentlich größer ausfielen als für die Intervalle der Unterteilungen. Für die verschiedenen Teile der Schraube wurden die folgenden m. F. eines Intervalls gefunden (Einheit: 0,0001 Umdrehung = 0,00005 mm):

Intervall	I	II	III	IV	Mittel	Nur aus dem Strichfehler gewonnener m. F. eines Intervalls
Hauptteilung	3,02	2,47	2,82	3,26	2,89 ($m_{J_{25}}$)	0,55 (m_{J_0})
Unterteilung	2,26	1,34	0,88	1,83	1,57 (m_{J_5})	

Bemerkenswert an diesen Zahlen ist zunächst, daß die Intervallfehler für die Hauptteilung erheblich größer ausfallen als für die Unterteilung, d. h. Messungen über kurze Strecken (5 Umdrehungen bei der Unterteilung) lassen sich genauer ausführen als Messungen über lange Strecken (25 Umdrehungen bei der Hauptteilung), ferner, daß in der Mitte der Schraube in beiden Fällen genauer gemessen wurde als an den Enden. Es ist dies ein Ergebnis, das durch die gegenseitige Bestätigung als durchaus gesichert gelten muß, und das dahin gedeutet werden kann, daß an den Enden die Mutter etwas mehr Spielraum über der Schraube hat als in der Mitte. Für beide Erscheinungen kommen außerdem Kippfehler des Schlittens in Frage, die selbst bei zuverlässigster Ausführung in den hier bemerkbaren sehr geringen Beträgen wohl möglich sind. Jedoch handelt es sich nur um Vermutungen, da besondere Untersuchungen, die hierüber Klarheit hätten schaffen können, nicht angestellt worden sind. Die abgeleiteten m. F. genügen, um angeben zu können, welche Fehler zu erwarten sind bei Ausmessung von Strecken bestimmter Länge und bei Ausführung einer bestimmten Anzahl von Einstellungen und Wiederholungen der Messungsreihen. Es soll jetzt unter Zugrundelegung der hier

gewonnenen Mittel der Intervallfehler und unter der Voraussetzung, daß auch die 4. Dezimale mitgenommen wird, ermittelt werden, mit welchen Fehlern die Messung einer beliebigen Strecke behaftet ist. Die angegebenen Intervallfehler setzen sich zusammen aus einem Einstellfehler $m_E = m_{J_0} = \frac{1,234}{\sqrt{5}} \cdot \frac{\sqrt{2} \cdot \sqrt{2}}{2} = 0,55$, der nur von der Unsicherheit der Einstellungen auf die Endstriche der Intervalle herrührt und somit von der Länge des Intervalls unabhängig ist, und aus Längenfehlern, die in zunächst unbekannter Weise von der Länge der gemessenen Intervalle abhängen ($m_J^2 = m_E^2 + m_L^2$). Unter der naheliegenden Annahme, daß die drei Werte $m_{J_0} = 0,55$; $m_{J_5} = 1,57$; $m_{J_{25}} = 2,89$ auf einer Parabel liegen, kann man dann die Intervallfehler aus der Gleichung $L = 1,09 - 4,39\, m_J + 4,38\, m_J^2$ für beliebige L berechnen. Hat man eine Strecke L gemessen und ist, wie hier angenommen wurde, auch die 4. Dezimale der ganzen Umdrehung niedergeschrieben worden, so ist es noch notwendig, auch die Schraubenkorrektionen anzubringen. Dadurch vergrößert sich auch der m. F. des Intervalls. Wie im folgenden gezeigt wird, ist der m. F. einer Schraubenkorrektion wegen fortschreitenden Fehlers gleich 1,3, wegen periodischen Fehlers etwa gleich 0,5 zu setzen. Es wird also:

$$m_{J_K}^2 = m_J^2 + 2\,(1,3)^2 + 2\,(0,5)^2.$$

In der hier folgenden Tabelle sind für verschiedene Strecken L (in Schraubenumdrehungen) neben den Längen- und Intervallfehlern auch die Fehler der korrigierten

L	m_L	m_J	m_{J_K} in Einh. d. 4. Dez.	m_{J_K} in 0,001 mm	
0	0	0,55	—	—	nur Korrekt. wegen period. Fehlers berücksichtigt
0,1	0,36	0,66	0,97	0,05	
0,3	0,54	0,77	1,05	0,05	
0,5	0,63	0,84	1,10	0,06	
1	0,81	0,98	1,21	0,06	
5	1,47	1,57	2,52	0,13	Korrekt. wegen fortschr. und period. Fehlers berücksichtigt
10	1,93	2,01	2,81	0,14	
25	2,84	2,89	3,50	0,18	
50	3,84	3,88	4,35	0,22	
75	4,61	4,64	5,04	0,25	
100	5,25	5,28	5,64	0,28	

Intervalle angegeben, jedoch sind für die kleinen Intervalle bis zu einer Umdrehung nur die periodischen Fehler berücksichtigt worden, da über kurze Strecken der fortschreitende Fehler als konstant anzusehen ist, sofern man nur, was selbstverständlich ist, ein Stück der Schraube auswählt, welches keine starke Änderung des fortschreitenden Fehlers aufweist. — Es darf noch einmal daran erinnert werden, daß jede Intervallmessung sich aus zwei Messungsreihen zusammensetzte, bei denen die Intervalle zwecks Unschädlichmachung eines etwa vorhandenen periodischen Fehlers um $\frac{1}{2}$ Umdrehung gegeneinander verschoben waren. Eine möglicherweise auftretende Periode von einer halben Umdrehung wird allerdings hierdurch nicht beseitigt. Eine weitere nennenswerte Steigerung der Genauigkeit durch Vermehrung der Einstellungen auf ein und denselben Intervallstrich läßt sich natürlich nicht erreichen, wohl aber durch vermehrte Wiederholung der ganzen Messungsreihen, am besten bei verschiedenen Trommelstellungen der Schraube, wodurch dann u. U. die Anbringung einer Korrektion wegen pe-

riodischen Fehlers ganz fortfällt. Durch die drei Intervallfehler m_{J_0}, m_{J_5}, $m_{J_{25}}$ ist der Intervallfehler für große Intervalle natürlich nicht als genügend gesichert anzusehen; es müßte zum mindesten noch eine weitere unabhängige Bestimmung, etwa für $L = 75$ Umdrehungen, vorliegen; auch wurden nur die Mittel der Intervallfehler der Rechnung zugrunde gelegt. Jedoch dürfen die hier gegebenen Zahlenwerte als ein Beispiel angesehen werden, wie gegebenenfalls zu verfahren ist, und welchen Genauigkeitsgrad das Instrument im Höchstfalle etwa zuläßt.

Ableitung der Schraubenkorrektionen.

1. Fortschreitende Fehler. Die durch die Hauptteilung korrigierten Größen des Intervalls von 5 Umdrehungen sind in Spalte 2 der nächstfolgenden Tabelle gegeben. Sp. 3 ist aus Sp. 2 durch Subtraktion des Mittels der ersten 17 Werte der korrigierten Unterintervalle (5,0023,2) entstanden. Spalte 2 zeigt, daß die Größe dieses Intervalls in Trommelteilen ausgedrückt bis S 88 nur geringen Schwankungen unterliegt, dann aber stark steigt, d. h. die Ganghöhe der Schraube nimmt nach dem Ende zu etwas ab. Sollen nun die Schraubenkorrektionen für den größten Teil der Schraube klein ausfallen, so muß durch Subtraktion einer Konstanten zunächst dafür gesorgt werden, daß für diesen Bereich (S 3 bis S 88) die Intervallgrößen um Null schwanken. Die aus diesen Werten (Sp. 3) durch fortgesetzte Addition gefundenen Strichkorrektionen (Sp. 5) nehmen dann für das Ende der Schraube große negative Werte an. Es ist übrigens gleichgültig, ob mit der Addition am Anfang, am Ende oder in der Mitte begonnen wird. Schließlich wurde noch diejenige Lage der Nullinie, für die die Korrektionen von 3 bis 88 am kleinsten werden, durch Ausgleichung in diesem

1 J_s	2 Korrigierte Größe des Unter-intervalls	3 Sp. (2) — 5,0023,2	4 S	5 Korrekt. I an S in Einh. der 4. Dez.	6 Korrekt. II an S nach Ausgleichung. Endgültige Korrektionen	7 Endgültige Korrektionen aus Gruppe A	8 Endgültige Korrektionen aus Gruppe B
3 bis 8	5,0025,3	+ 2,1	3	0	+ 1,6	+ 2,3	+ 0,9
8 „ 13	23,3	+ 0,1	8	— 2,1	— 0,6	— 0,7	— 0,4
13 „ 18	21,2	— 2,0	13	— 2,2	— 0,7	— 1,8	+ 0,5
18 „ 23	26,9	+ 3,7	18	— 0,2	+ 1,2	— 0,5	+ 3,1
23 „ 28	20,7	— 2,5	23	— 3,9	— 2,5	— 1,4	— 3,4
28 „ 33	21,2	— 2,0	28	— 1,4	— 0,1	+ 0,5	— 0,4
33 „ 38	24,9	+ 1,7	33	+ 0,6	+ 1,9	+ 2,1	+ 1,7
38 „ 43	24,6	+ 1,4	38	— 1,1	+ 0,2	0	+ 0,2
43 „ 48	23,3	+ 0,1	43	— 2,5	— 1,3	+ 1,0	— 3,8
48 „ 53	23,2	0,0	48	— 2,6	— 1,4	— 0,1	— 3,1
53 „ 58	20,4	— 2,8	53	— 2,6	— 1,5	— 1,3	— 2,1
58 „ 63	21,8	— 1,4	58	+ 0,2	+ 1,3	+ 0,5	+ 1,8
63 „ 68	24,2	+ 1,0	63	+ 1,6	+ 2,6	+ 1,8	+ 3,3
68 „ 73	25,7	+ 2,5	68	+ 0,6	+ 1,6	— 0,1	+ 3,2
73 „ 78	24,2	+ 1,0	73	— 1,9	— 1,0	— 3,2	+ 1,3
78 „ 83	21,3	— 1,9	78	— 2,9	— 2,0	— 3,2	— 0,8
83 „ 88	22,0	— 1,2	83	— 1,0	— 0,2	+ 0,4	— 0,6
			88	+ 0,2	+ 1,0	+ 3,7	— 1,4
88 bis 93	31,1	+ 7,9	93	— 7,7	— 7,0	— 4,5	— 9,2
93 „ 98	36,9	+ 13,7	98	— 21,4	— 20,7	— 19,5	— 21,8
98 „ 103	42,4	+ 19,2	103	— 40,6	— 40,0	— 38,7	— 41,0
103 „ 108	40,0	+ 16,8	108	— 57,4	— 56,8	— 53,2	— 60,2

Bereiche gefunden (Sp. 6 und Fig. 1). Die Zahlen der Sp. 6, die die endgültigen Korrektionen darstellen, zeigen, daß zwischen 3 und 88 diese an keiner Stelle die für den ursprünglichen Zweck als zulässig zu betrachtende Grenze von $\pm$ 5 Einheiten der 4. Dezimale der ganzen Umdrehung (die gestrichelten Linien auf Fig. 1) auch nur annähernd erreichen; an zwei Stellen (*S* 23 und *S* 63) sind sie gerade halb so groß. Um festzustellen, inwieweit die geringen Schwankungen an dem Polygonzug der endgültigen Korrektionen auf Fig. 1 noch als reell anzusehen sind, und welcher m. F. den Zahlen der Sp. 6 zukommt, ist das Beobachtungsmaterial in zwei Teile geteilt worden; und zwar sind die drei ersten Messungsreihen der Hauptteilung und die je ersten Messungsreihen der Unterteilung einerseits (Gruppe A), die drei letzten Messungsreihen der Hauptteilung und die je letzten der Unterteilung andererseits (Gruppe B) für sich allein völlig getrennt zur Ermittlung von Korrektionen nach dem genau gleichen Rechenverfahren wie oben (auch Ausgleichung zwischen *S* 3 und 88) verwandt worden. Die entsprechenden Zahlen der Gruppen A und B, die auch noch innerhalb der Grenzen von $\pm$ 5 Einheiten bleiben, sind in Sp. 7 und 8 der Tabelle hinzugefügt und auf Fig. 1 wiedergegeben. Aus den Differenzen dieser Zahlen ergibt sich der m. F. einer endgültigen Korrektion innerhalb des durch Ausgleichung ermittelten Stückes zu 1,3 Einheiten der 4. Dezimale, darüber hinaus wird er um ein geringes größer. Auf Fig. 1 lassen die Polygonzüge der Korrektionen der Gruppen A und B (Sp. 7 und 8) die der Hauptsache nach gleichen Schwankungen erkennen, wie sie der

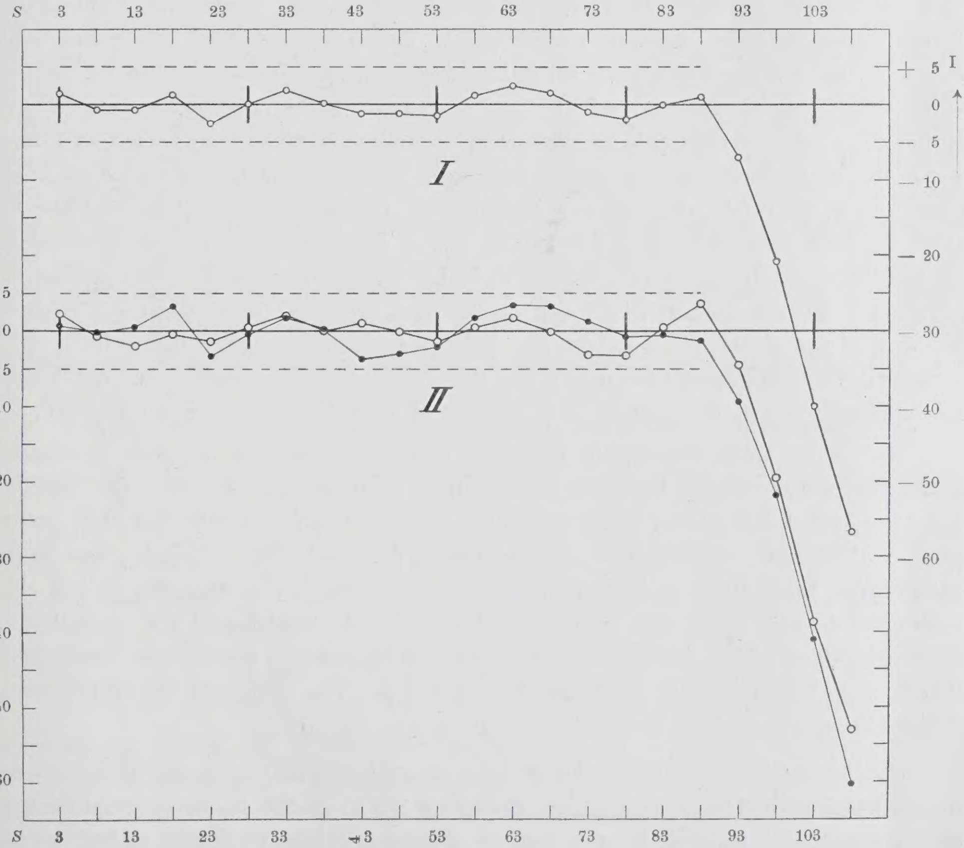


Fig. 1.

I. Endgültige Korrektionen wegen fortschreitenden Fehlers; II. Korrektionen, ermittelt aus den Gruppen A und B. Abscisse: Schraubenumdrehungen; Ordinate: Schraubenkorrektionen in Einheiten der 4. Dezimale der ganzen Umdrehung, 20000 Einheiten = 1 mm.

zuerst ermittelte Polygonzug zeigt, der also das Mittel jener beiden darstellt. Da übrigens an einem Tage stets nur eine Messungsreihe ausgeführt wurde, sind die Korrektionen der Gruppen A und B völlig unabhängig voneinander entstanden.

Da die Spektren mit nur drei Dezimalen Ablesegenauigkeit gemessen werden sollten, hätte sich das seinerzeit wichtigste Ergebnis der Untersuchung (Feststellung der Fehlerfreiheit von *S* 3 bis 88) also bereits aus der halben Anzahl von Messungsreihen ergeben. Die Anbringung einer Korrektion wegen fortschreitenden Fehlers von *S* 3 bis *S* 88 war also nicht notwendig. An welcher Stelle der Schraube nach dem scharfen Umbiegen der Korrektionskurve etwa bei *S* 88 mit der Anbringung einer Korrektion begonnen werden mußte, d. h. wie weit die Schraube als fehlerfrei zu betrachten war, ließ sich mit Sicherheit aus den Zahlen der Spalte 6 nicht entscheiden. Zwischen *S* 88 und *S* 98 wurde daher die Schraube durch weitere Teilung in fünf Teile genauer untersucht. Eine graphische Auftragung diente hiernach dazu, die Schraubenkorrektionen bis *S* 108 zu ermitteln und insbesondere diejenige Stelle *S* 92,1 aufzusuchen, von der ab mit der Anbringung einer Korrektion begonnen werden mußte. Die Schraube konnte also für den vorliegenden Zweck in bezug auf fortschreitenden Fehler über eine Länge von etwa $4\,^1/_2$ cm als fehlerfrei betrachtet werden. Durch geeignete Maßnahmen bei der Herstellung hätte sich übrigens das Abbiegen der Korrektionskurve zweifellos vermeiden lassen. Daß möglichst die ganze Schraube in dem zwischen *S* 3 und 88 erreichten Betrage fehlerfrei ist, hat nicht nur die Bedeutung einer geringen Ersparnis an Rechenarbeit, die durch die Anbringung der Korrektionen entsteht, sondern vielmehr die, daß Veränderungen der Schraubenfehler mit der Zeit infolge Abnutzung zu befürchten sind, was natürlich um so ungünstiger wirkt, je größer die Schraubenfehler an sich sind. Spielt dieser Umstand schon eine Rolle, wenn nur drei Dezimalen niederzuschreiben sind, so ist er um so mehr zu befürchten, wenn die Anforderungen an die Genauigkeit höhere sind und es geboten erscheint, auch die 4. Dezimale der ganzen Umdrehung niederzuschreiben, in welcher Einheit sich die Schraubenfehler möglicherweise sogar recht schnell verändern werden. Da häufige Neubestimmungen der Schraubenfehler wegen des nicht ganz geringen Zeitaufwandes im allgemeinen nicht ausführbar sind, so wird man derartige hochwertige Messungen nur dann mit Aussicht auf entsprechenden Erfolg ausführen können, wenn entweder die Schraubenfehler sehr klein sind, oder wenn es möglich ist, die Schraubenfehler bereits durch die Anlage der Messungen zum Verschwinden zu bringen. —

Da durch diese vorzügliche Schraube praktisch bewiesen ist, daß es möglich ist, lange Schrauben nahezu fehlerlos herzustellen, wird man in Kreisen der Astronomen gut tun, in Zukunft etwas anspruchsvoller in bezug auf Fehlerfreiheit der Schrauben zu sein als bisher, welchem Wunsche von seiten der Mechaniker zweifellos das Bestreben entsprechen wird, Fehlerfreiheit in dem hier zwischen den Ablesungen 3 und 88 festgestellten Grade auch bei anderen Schrauben zu erreichen. Da unüberwindliche Schwierigkeiten nicht vorliegen dürften, ist die allgemeine Erreichung dieses Zieles zu erhoffen, und man braucht dann bei einer Schraube von der Güte der vorliegenden der Mirkwirkung des Zufalls keinen Anteil mehr zuzuschreiben.

2. Periodische Fehler. Diese blieben weit unterhalb der für den vorliegenden Zweck zugelassenen Grenze von $\pm$ 5 Einheiten der 4. Dezimale, in welchen Betrag sich streng genommen fortschreitender und periodischer Fehler zu teilen hätten, wenn man die Schraubenfehler in der 3. Dezimale unberücksichtigt lassen will. Um auch für die periodischen Fehler zu zeigen, wie weit diese durch sorgfältiges Verfahren bei der

Herstellung heruntergebracht werden können, soll das Resultat der Messungen kurz mitgeteilt werden.

Die Differenzen der gemessenen Größen des Intervalls von $\frac{1}{2}$ Umdrehung, wenn dessen Anfang auf 0 und auf 5 der Trommel, weiter auf 1 und auf 6, 2 und 7, 3 und 8, 4 und 9 fällt, stellen sofort den 4-fachen Betrag der bei 0, 5, 1, 6, 2, 7, 4 und 9 an die Schraubenablesung anzubringenden Korrektionen dar, die diese von den periodischen Ungleichheiten befreit. Diese sehr kleinen Korrektionsgrößen sind für alle fünf untersuchten Stellen der Schraube in der folgenden kleinen Tabelle und in Fig. 2 gegeben. Die hier frei hindurch gelegten Kurven zeigen auf den ersten

	15	40	65	85	100
0	+ 0,4	+ 0,15	— 0,55	— 0,05	+ 0,1
1	+ 0,2	+ 0,4	+ 0,3	— 0,55	— 1,9
2	+ 0,5	+ 0,9	+ 1,9	+ 0,9	— 0,75
3	+ 0,75	+ 1,15	+ 1,15	— 0,25	— 0,35
4	— 0,75	— 0,25	+ 0,65	— 0,65	— 1,45
5	— 0,4	— 0,15	+ 0,55	+ 0,05	— 0,1
6	— 0,2	— 0,4	— 0,3	+ 0,55	+ 1,9
7	— 0,5	— 0,9	— 1,9	— 0,9	+ 0,75
8	— 0,75	— 1,15	— 1,15	+ 0,25	+ 0,35
9	+ 0,75	+ 0,25	— 0,65	+ 0,65	+ 1,45

Blick ihre innere Verwandtschaft: von *S* 15 bis *S* 100 geht die eine in die andere allmählich über. Die Periode von einer ganzen Umdrehung, die man zunächst in der Hauptsache zu erwarten pflegt, ist überlagert von einer Periode von $\frac{1}{3}$ der Schraubenumdrehung, die etwa von der gleichen Größenordnung ist wie die Hauptschwankung. Eine Periode von der Größe einer halben (etwa auch noch von $\frac{1}{4}$) Umdrehung kann selbstverständlich außerdem noch vorhanden sein, die jedoch, da nur mit einem Intervall von $\frac{1}{2}$ Umdrehung gemessen wurde, nicht ermittelt werden kann. Insofern sind auch die mitgeteilten Werte der Tabelle nicht die wirklichen (endgültigen) Korrektionen, sondern nur diejenigen, die aus periodischen Fehlern von 1, $\frac{1}{3}$ usw. der ganzen Umdrehung folgen, was jedoch hier unwesentlich ist. — Für jede der fünf Stellen der Schraube sind die Fourierkoeffizienten (a und b), sowie Amplitude (r) und Phase (δ) der Perioden von einer ganzen und ein Drittel der Schraubenumdrehung gerechnet, die hier in Einheiten der 4. Dezimale wiedergegeben werden:

S		15	40	65	85	100
1. Glied	a_1	+ 0,22	+ 0,12	— 0,12	+ 0,08	— 0,08
	b_1	+ 0,17	+ 0,41	+ 0,69	— 0,02	— 0,60
	r_1	0,28	0,43	0,70	0,08	0,61
	δ_1	51°,6	16°,0	350°,1	102°,7	187°,3
3. Glied	a_3	+ 0,06	+ 0,03	— 0,21	— 0,20	+ 0,11
	b_3	— 0,25	— 0,21	— 0,18	— 0,30	— 0,51
	r_3	0,26	0,21	0,28	0,37	0,52
	δ_3	166°,2	171°,9	229°,7	213°,6	167°,5

Die Punkte, an denen die Phase Null ist, sind in Fig. 2 durch Striche bezeichnet (lange für das 1. Glied der Fourierentwicklung, kurze für das 3. Glied). Die Hauptschwankung nimmt von *S* 15 bis *S* 40 zu, ist bei *S* 85 nahe gleich Null und bei 100 wieder von etwa gleicher Größe wie bei 65, jedoch ist ihre Phase gegen diese jetzt um rund 180° verschoben, während die Phase des 3. Gliedes für alle fünf Punkte nahe die gleiche bleibt (alles innerhalb des zu erwartenden Genauigkeitsgrades) und nur die

Amplitude sich allmählich vergrößert. Es liegt die Vermutung nahe, daß die durch das 1. Glied der Fourierentwicklung ausgedrückte Ungleichheit auf Unregelmäßigkeiten zwischen Schraube und Mutter oder Spitze und Widerlager, oder auch durch Zusammenwirken beider Fehlerquellen (wegen Zunahme des periodischen Fehlers mit steigender Schraubenablesung!), zurückzuführen ist, während die für alle fünf Kurven fast identische Phase des 3. Gliedes mit einiger Wahrscheinlichkeit auf einen allerdings äußerst geringfügigen periodischen Fehler der Trommelteilung schließen läßt.

Die Berechnung des m. F.'s einer Korrektion führt — wie man dieselbe auch in Angriff nehmen mag — auf einen Wert, der jedenfalls unterhalb einer Einheit der 4. Dezimale bleibt. Aus dem oben ermittelten Intervallfehler einer $\frac{1}{2}$ Umdrehung (0,84) folgt als m. F. einer einzelnen Korrektion $(0{,}84 \cdot \sqrt{2})\frac{\sqrt{2}}{4} = \mathbf{0{,}42}$; jedoch wird derselbe am Ende der Schraube größer als am Anfange sein, so daß man etwa das Richtige treffen wird, wenn man denselben für Anfang bis Mitte der Schraube zu etwa **0,4** = 0,00002 mm angibt, während nach dem Ende der Schraube zu ein Ansteigen bis etwa **0,8** = 0,00004 mm anzunehmen ist. Ohne über andere Berechnungsmöglichkeiten Mitteilung machen zu wollen, möge nur noch darauf hingewiesen sein, daß, wenn man die m. F. aus den Differenzen zwischen den Korrektionsgrößen je zweier auf der Schraube benachbarter Messungsreihen bildet, also zwischen *S* 15 und 40, 40 und 65, 65 und 85, 85 und 100, man bereits — obgleich diese m. F. eher zu groß als zu klein ausfallen müssen — zu einem Mittelwert von **0,55** gelangt.

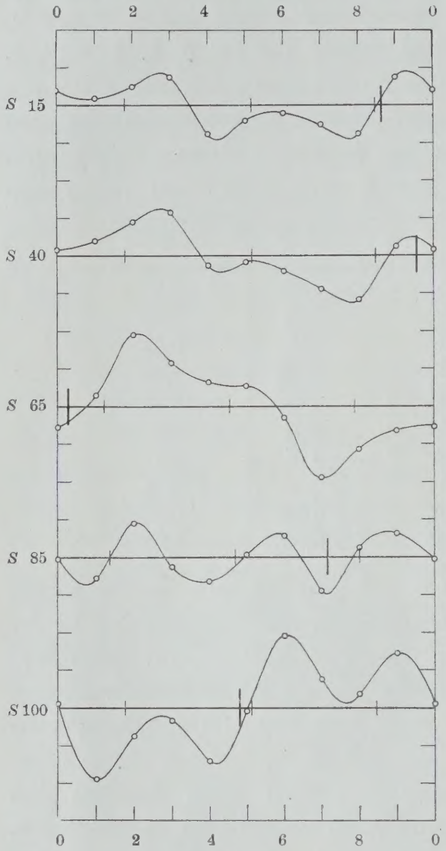


Fig. 2.
Korrektionen wegen periodischen Fehlers.
1 Intervall der Ordinate = 1 Einheit der 4. Dezimale = 0,00005 mm.

Bei der Neubearbeitung des Beobachtungsmaterials sind an manchen Stellen Fragen aufgetaucht, die, obgleich sie allgemeineres Interesse hätten beanspruchen können, unbeantwortet bleiben mußten, da das entsprechende Beobachtungsmaterial entweder ganz fehlt oder doch zu gering zu ihrer Beantwortung ist, was in den eingangs erwähnten Verhältnissen seinen Grund hat. Auch auf die Frage nach der Abnutzung kann nichts Bestimmtes geantwortet werden. Obgleich die Schraubenfehler in dem seit meiner Untersuchung vergangenen Jahrzehnt mehrfach neubestimmt worden sind, meist allerdings nur in kursorischer Weise, reicht das Material, soweit es mir bekannt geworden ist, nicht aus, sichere Schlüsse zu ziehen; jedoch scheint der Grad der Abnutzung nicht unerheblich zu sein. Eine sorgfältigste Neubestimmung der Schraubenfehler, die zur Klärung dieser Frage geeignet ist, würde sich lohnen.

Die vorliegende Untersuchung hat ein Instrument hervorragendster Leistungsfähigkeit kennen gelehrt; jedoch wird man nur selten in der glücklichen Lage sein, diese voll ausnutzen zu können, da derartig gut bestimmte Objekte wie die hier verwandten diamantgeritzten und photographierten Striche im allgemeinen nicht vorliegen.

So hat z. B. die von mir durchgeführte Ausmessung der Spektrogramme von α Orionis gezeigt, daß trotz vorzüglichster Abbildung der Spektrallinien die dort erreichte Meßgenauigkeit auch nicht im entferntesten der in dieser Arbeit dargelegten gleichkommt, worüber später zu berichten sein wird. Über die bloße Kenntnis der Schraubenfehler hinaus dürfte es immerhin von Wert sein zu wissen, welchen Grad von Genauigkeit ein solches Instrument zuläßt, und welcher Grad von Unsicherheit daher den Ausmessungen von Spektrogrammen oder anderen Objekten innewohnt.

Über Röntgenröhren.

Von
Hermann Behnken in Charlottenburg.

Die seit nun dreißig Jahren[1]) der Wissenschaft bekannten Röntgenstrahlen finden heute eine sehr vielseitige praktische Verwendung. Der Hauptanwendungsbereich liegt seit alters auf dem Gebiete der Medizin, die sich der Röntgenstrahlen in zweierlei Weise bedient, nämlich einmal für die Diagnose, indem der Patient mit Röntgenstrahlen durchleuchtet wird. Man erlangt auf diese Weise mit Hilfe des Leuchtschirmes, auf welchem das Schattenbild der Röntgenstrahlen aufgefangen und sichtbar gemacht wird, einen direkten „Einblick“ in das Innere eines erkrankten Organismus. Setzt man an die Stelle des Leuchtschirmes eine photographische Platte, so läßt sich das Bild für die Dauer festhalten. Andrerseits benützt man die Röntgenstrahlen therapeutisch, indem man durch Bestrahlung eines Krankheitsherdes einen Heilvorgang herbeizuführen sucht. Hierbei kommen sowohl Bestrahlungen der Körperoberfläche, also der Haut, als auch Bestrahlungen von Organen im Innern des Körpers in Frage, und man unterscheidet demgemäß eine Oberflächen- und eine Tiefentherapie, die jede ihre besondere Technik verlangen.

Einer weiteren praktischen Anwendung der Röntgenstrahlen begegnen wir in der Technik, indem man die Strahlen dazu benutzt, verborgene, d. h. von außen nicht erkennbare Fehler in Gußstücken (Lunker), Schweißnähten oder dergleichen festzustellen. Auch werden in Sprengstoffabriken Zündschnüre auf Gleichmäßigkeit und Fehlerlosigkeit des Brennsatzes mit Röntgendurchleuchtung geprüft. Diese Art der Verwendung hat vieles mit der Diagnostik in der Medizin gemein und verlangt ähnliche technische Mittel.

In ganz besonders eigenartiger Weise bedient sich aber die exakte Wissenschaft, nämlich die Physik und Chemie der Röntgenstrahlen. Diese eignen sich nämlich ebenso wie das sichtbare und ultraviolette Licht vorzüglich zur Spektralanalyse insbesondere, wenn es sich darum handelt, die noch bestehenden Lücken im periodischen System durch die Entdeckung bisher unbekannter, aber vielleicht existierender Elemente auszufüllen. Hierüber ist weiter unten Näheres zu sagen, wo die Bedingungen auseinandergesetzt werden sollen, die ein für diesen Zweck zu benützendes Röntgenrohr erfüllen muß.

Eine weitere Wissenschaft, die heute der Röntgenstrahlen nicht mehr entraten kann, ist die Kristallographie, sowie diejenigen Wissenschaften, die an Kristallstrukturen Interesse nehmen, wie die Metallographie und die Faserstoffchemie. Dies hat seinen Grund darin, daß die Röntgenstrahlen vermöge ihrer außerordentlich kurzen Wellenlänge ($0{,}05$ bis $15{,}0 \times 10^{-8}$ cm) die Möglichkeit zur Untersuchung von Mikrostrukturen bieten, wie sie die Anordnung der Atome in Kristallen, ja sogar der Elek-

---

[1]) W. C. Röntgen, *Würzburger Ber. 1895. S. 137–141.* Siehe auch *Ann. d. Physik* **64.** *S. 1. 1898.*

tronen in den Atomen, darstellen. Diese Strukturen weisen so kleine Abmessungen auf, daß Lichtwellen ein viel zu grobes Mittel zu ihrer Erforschung sind.

Je nachdem nun die Röntgenstrahlen dem einen oder dem anderen Zwecke dienstbar gemacht werden sollen, verlangt man von ihnen recht verschiedene Eigenschaften, von denen bald die eine, bald die andere in den Vordergrund zu treten hat. Dies hat zur Folge, daß auch die zur Strahlenerzeugung dienenden Apparate recht verschieden eingerichtet sein müssen. Das gilt sowohl von den Röntgenröhren, als den eigentlichen Strahlungsquellen, als auch von den Apparaten, mit denen sie zu betreiben sind. Im nachstehenden sollen verschiedene Typen von Röntgenröhren beschrieben und erläutert werden, wobei es nicht unterbleiben kann, daß auch einiges über die Art ihres Betriebes gesagt wird.

Wir kennen bislang nur eine Art der Erzeugung von Röntgenstrahlen. Diese entstehen nämlich immer und nur dann, wenn Elektronen, die eine gewisse nicht zu kleine Geschwindigkeit besitzen, sogenannte Kathodenstrahlen, auf Materie auftreffen und so gebremst werden. Der weitaus größte Teil der Kathodenstrahlenergie wird dabei in Wärme umgewandelt und erhöht lediglich die Temperatur der getroffenen Materie. Ein sehr kleiner Teil der Energie jedoch von der Größenordnung eines Promille verläßt die von den Kathodenstrahlen getroffenen Atome in Gestalt von Röntgenstrahlen. Es ist somit bislang nicht möglich, Röntgenstrahlen zu erzeugen, ohne daß dabei zugleich beträchtliche Wärmemengen entstehen, die eine sehr unangenehme Begleiterscheinung bilden und auf deren Beseitigung der Konstrukteur von Röntgenröhren jederzeit sein besonderes Augenmerk zu richten hat.

Die für die Röntgenstrahlen als Vorbedingung unerläßlichen Kathodenstrahlen lassen sich auf verschiedenen Wegen herstellen. Die schon von Röntgen benützte und bis zum Jahre 1913 in der Röntgenpraxis ausschließlich angewandte „klassische“ Methode besteht einfach darin, daß man ein Geißlersches Rohr geeigneter Form und Größe bis zu einem Druck von etwa $^1/_{1000}$ mm Quecksilber auspumpt und dann die Entladung eines kräftigen Induktoriums hindurchschickt. Hierbei spielt sich folgender Vorgang ab: Die in dem verdünnten Gase aus hier nicht zu erörternden Gründen stets vorhandenen wenigen Ionen werden durch die hohe Spannung des Induktors stark beschleunigt und erzeugen dann beim Zusammenstoß mit neutralen Gasatomen oder -molekülen eine große Zahl von Ionen beiderlei Vorzeichens, von denen die positiv geladenen Kationen zur Kathode, die negativ geladenen Anionen zur Anode wandern. Da die Beweglichkeit der Anionen ihrer geringeren Masse wegen meist erheblich größer ist als die der Kationen, so findet an der Kathode alsbald eine Verarmung an Ionen statt, die eine verringerte Leitfähigkeit dieses Teiles der Röhre und damit einen starken Spannungsabfall in der Nähe der Kathode zur Folge hat. Die unter dem Einfluß dieses starken Spannungsgefälles mit großer Energie auf die Kathode auftrommelnden Kationen lösen aus dem Metall der Kathode eine große Zahl von freien Elektronen aus, die dann ihrerseits vom elektrischen Felde ergriffen werden und daher die Kathode als Kathodenstrahlen senkrecht zu ihrer Oberfläche mit erheblicher Geschwindigkeit verlassen. Sobald den Kathodenstrahlen ein Hindernis in den Weg tritt, sei es die Glaswand des Entladungsrohres oder eine eigens zu diesem Zweck in der Röhre angebrachte metallene „Antikathode“, werden die Kathodenstrahlen gebremst und liefern Wärme und Röntgenstrahlen.

Nun zeigten aber schon im Jahre 1905 Wehnelt und Trenkle[1]), daß man auch

[1]) *Ber. d. phys. med. Soc. Erlangen* **37**. *S. 312. 1905.*

auf andere Weise entstandene Kathodenstrahlen für die Röntgenstrahlerzeugung benutzen kann, wobei dann der Gasinhalt der Röhre seine wesentliche Bedeutung verliert, ja sogar schädlich wird. Wehnelt und Trenkle machten dazu Gebrauch von der Tatsache, daß aus einem mit gewissen Oxyden, z. B. CaO, überzogenen und durch einen elektrischen Strom geglühten Platindraht Elektronen in großer Zahl herausdiffundieren. Verwendet man einen solchen glühenden Draht als Kathode in einem hochevakuierten Entladungsrohr bei genügender Spannung — etwa 20000 Volt und mehr —, so werden die Glühelektronen hinreichend beschleunigt, um bei ihrer Bremsung brauchbare Röntgenstrahlen zu erzeugen. Leider war aber die Glühkathode recht empfindlich und der dauernden Beanspruchung durch hochgespannte Entladungen nicht gewachsen, so daß die Methode von Wehnelt und Trenkle in die praktische Röntgentechnik zunächst keinen Eingang fand. Erst im Jahre 1912 gelang es Lilienfeld[1]) unter Benutzung des Glühkathodenprinzipes eine für die Praxis brauchbare Röntgenröhre zu konstruieren, die ihrer unten näher zu erläuternden Vorteile wegen auch alsbald von größerer Bedeutung wurde. Lilienfeld sagte sich: „Wenn die Glühkathode die zur Röntgenstrahlerzeugung nun einmal unentbehrlichen Spannungen nicht verträgt, so muß für die Röntgenröhre eine solche Form und Betriebsweise gefunden werden, daß die Glühkathode zwar die als Entladungsträger nötigen Elektronen liefern kann, selbst aber vor dem Hochspannungsfelde geschützt bleibt.“ Dies gelang ihm dadurch, daß er das Rohr in zwei voneinander getrennte Räume teilte, in deren einem die Glühelektronen erzeugt wurden, während die eigentliche hochgespannte Röntgenentladung auf den anderen Raum beschränkt blieb. Näheres wird weiter unten mitgeteilt werden.

Kurz nach Lilienfelds Erfindung gelang es dem Amerikaner Coolidge[2]) auf andere Weise, die Glühkathode für die praktische Röntgenstrahlenerzeugung nutzbar zu machen, indem er ihr eine Form gab, die sie befähigte, die Hochspannungsbeanspruchung auszuhalten. Auch hierüber wird weiter unten Näheres gesagt werden.

Wir haben demgemäß drei Typen von Röntgenröhren zu unterscheiden, die im folgenden als Ionenröhre, Lilienfeldröhre und Coolidgeröhre bezeichnet werden sollen. Wir wollen nun betrachten, in welcher Weise die drei Röhrentypen den verschiedenartigen Anforderungen, die sich aus dem Verwendungszweck ergeben, anzupassen sind. Beginnen wir also mit der medizinischen Diagnostik. Diese macht Gebrauch von der Eigenschaft der Röntgenstrahlen, Körper verschiedener Dichte und verschiedener Zusammensetzung in verschiedenem Maße zu durchdringen. Vermöge dieser Eigenschaft lassen sich von Gegenständen, die man etwa zwischen eine Röntgenröhre und einen unter dem Einfluß der Strahlen aufleuchtenden Fluoreszenzschirm bringt, mehr oder weniger deutliche Schattenbilder entwerfen. Sehr dicke oder dichte Körper werfen dabei einen schwärzeren Schatten als dünne oder weniger dichte, so daß z. B. beim Durchleuchten eines menschlichen Armes die spezifisch schwereren Knochen als dunkle Stellen in dem weit weniger dunklen Muskelschatten zu erkennen sind. Die Aufgabe des Röhrenkonstrukteurs besteht nun darin, die Röntgenröhre so zu gestalten, daß die erzielten Schattenbilder erstens möglichst hell, zweitens möglichst kontrastreich und drittens möglichst scharf ausfallen. Um die Bilder recht hell zu machen, braucht man große Strahlenintensität. Diese wieder bedingt eine möglichst große Zahl gebremster Elektronen, also einen möglichst starken Strom durch die Röhre hindurch. Der Forderung nach Kontrastreichtum wird durch eine geeignete Strahlenqualität zu genügen sein.

---

[1]) *Fortschr. a. d. Geb. d. Röntgenstr.* **18.** *S. 256. 1912.*

[2]) *Phys. Rev.* **2.** *S. 409. 1913.*

Es sind nämlich keineswegs alle Röntgenstrahlen in gleichem Maße durchdringend. Man unterscheidet vielmehr härtere Strahlen von größerem Durchdringungsvermögen und weichere Strahlen, die stärker absorbiert werden. Ist das bei einer Durchleuchtung benutzte Strahlengemisch durchweg zu weich, so werden auch in den Weichteilen die Strahlen zu stark absorbiert und werfen daher schon von diesen einen so tiefen Schatten, daß darin der nur wenig schwärzere Knochenschatten kaum noch zu erkennen ist. Sind dagegen die Strahlen zu hart, so wird auch der Knochenschatten so wenig dunkel, daß er sich ungenügend von seiner Umgebung abhebt. Man hat also einen ganz bestimmten mittleren Härtegrad innezuhalten, der je nach dem Gegenstand, der untersucht werden soll, verschieden sein muß. Weichteile wie Lunge und Baucheingeweide müssen mit weicheren Strahlen durchleuchtet werden, als etwa der Schädel mit seinen dicken Knochenmassen.

Nun ist die Härte der Röntgenstrahlen um so größer, eine je höhere Spannung an der Röhre liegt. Die Strahlen sind aber, selbst bei einer peinlich konstanten Spannung, keineswegs homogen, sondern besitzen einen erheblichen kontinuierlichen Härtebereich, der sich zwar durch Filterung auf die härteren Anteile einengen läßt, aber stets ein Gemisch verschieden harter Strahlen darstellt. Es ist darum erforderlich, entweder die für die Diagnostik zu benützenden Röntgenröhren so einzurichten, daß sie mit verschieden hohen Spannungen betrieben werden können, oder mehrere Röhren verschiedener Härte vorrätig zu halten. Der Größenordnung nach liegen die in der Diagnostik erforderlichen Röhrenspannungen um 60 kV herum.

Die Schärfenqualität der Röntgenbilder ist wesentlich bedingt durch die Größe der Strahlenquelle. Da es sich um Schattenbilder handelt, können völlig scharfe Umrisse theoretisch nur dann erzielt werden, wenn die Strahlen sämtlich von einem mathematischen Punkt ausgehen. Sobald die Strahlenquelle eine endliche Größe hat, tritt das Phänomen des Kernschattens und Halbschattens auf und beeinträchtigt die Erkennbarkeit feinerer Einzelheiten. Praktisch ist natürlich ein absolut scharfer sogenannter Brennfleck im Röntgenrohr niemals zu erreichen, einmal weil sich die Kathodenstrahlen nicht beliebig konzentrieren lassen und zweitens, weil die Antikathode keine zu große Belastung der Flächeneinheit verträgt. Doch wird man sich für die Diagnostik dem punktförmigen Ideal möglichst zu nähern suchen. Übrigens bedeutet es in der Diagnostik noch einen kleinen Unterschied für die Art der Röhre, ob es sich um eine Durchleuchtung mit direkter Leuchtschirmbeobachtung handelt oder ob eine Röntgenaufnahme auf einer photographischen Schicht gemacht werden soll. Im letzteren Falle nämlich ist es, besonders bei bewegten Objekten, wie z. B. Magen- oder Herzaufnahmen, erwünscht, Momentbelichtungen zu machen. Dies ist natürlich nur möglich, wenn während der sehr kurzen Belichtungsdauer die Strahlenintensität sehr groß gemacht werden kann. Hierfür benutzte Röhren erfordern momentane Stromstärken von 50 oder 100 oder noch mehr Milliampere, während man bei Durchleuchtungen mit direkter Beobachtung selten mehr als 6 bis 10 Milliampere anwenden wird, schon um den Patienten bei dieser doch stets etwas länger dauernden Prozedur vor einer Röntgenverbrennung zu bewahren.

Betrachten wir nun zunächst die einfachste und älteste Form einer Röntgenröhre, nämlich diejenige, mit welcher s. Zt. Röntgen seine große Entdeckung machte. Sie hatte ungefähr die in der Fig. 1 dargestellte Gestalt, war also eine sogenannte Crookessche Entladungsröhre aus Glas mit einer kleinen schwach hohlspiegelförmigen Aluminiumkathode K von vielleicht 2 cm Durchmesser und einem kleinen Aluminiumdraht A als Anode. Das ganze war auf etwa $^{1}/_{1000}$ mm Quecksilberdruck evakuiert.

Unter dem Einfluß der Spannung eines kräftigen Induktoriums geht eine Entladung durch das Rohr hindurch und bewirkt, daß die von K senkrecht zur Oberfläche ausgehenden Kathodenstrahlen auf die gegenüberliegende Glaswand aufprallen. Diese pflegt dabei, wenn sie aus dem meist üblichen Thüringer Glas besteht, hellgrün zu fluoreszieren und emittiert gleichzeitig Röntgenstrahlen von allen Punkten aus, die von den Kathodenstrahlen getroffen werden. Doch hat eine solche Röhre, wie man leicht einsieht, mannigfache Mängel. Zunächst einmal verträgt sie nur relativ schwache Ströme. Sobald bei stärkerer Belastung die Kathodenstrahlen zu intensiv werden, erhitzen sie das getroffene Glas so sehr, daß es sehr schnell schmilzt. Zudem ist Glas auch deswegen kein sonderlich geeignetes Material, weil es meist aus Stoffen niedrigen Atomgewichtes besteht. Der Wirkungsgrad eines von Kathodenstrahlen bombardierten Materiales für die Röntgestrahlenerzeugung ist nämlich um so besser, je höher das Atomgewicht der benutzten Substanz ist. Drittens kann ein Rohr der beschriebenen Art keinen scharfen Brennfleck besitzen, weil bei einigermaßen scharfer Konzentration der Kathodenstrahlen auf einen Punkt dieser augenblicklich durchschmelzen würde. Schon Röntgen ersann daher alsbald eine günstigere Röhrenform, wie sie schematisch in der Fig. 2 dargestellt ist.

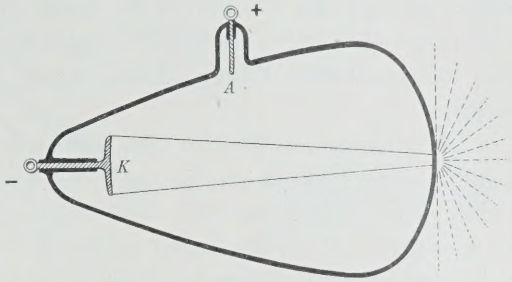


Fig. 1. Älteste Form der Röntgenröhre.
K Aluminium-Kathode, A Anode aus Aluminiumdraht.

Diese Röhre besitzt drei Elektroden, nämlich einen Aluminiumstift A als Anode, einen Aluminiumhohlspiegel K als Kathode und in der Mitte des Rohres ein Platinblech AK als sogenannte Antikathode, auf welcher sich die Kathodenstrahlen vereinigen und von der die Röntgenstrahlen ausgehen. Das schwer schmelzbare Platin verträgt ein weit stärkeres Kathodenstrahlbombardement und liefert gleichzeitig infolge seines hohen Atomgewichtes eine wesentlich bessere Ausbeute an Röntgenstrahlen als Glas. Auch der Forderung nach einem scharfen Brennfleck kann hierbei besser genügt werden. Man hat dazu den Krümmungsradius der Kathode so zu wählen, daß der Krümmungsmittelpunkt ungefähr in der Mitte der Antikathode liegt. Auch die Stellung der Kathode im Kathodenhals übt einen Einfluß aus. Man könnte meinen, daß in einem solchen Rohr die Anode A ganz überflüssig sei, da ja die Zuführung der positiven Spannung ganz gut von der Antikathode AK übernommen werden könnte, die ohnehin beim Betrieb mit der Anode leitend verbunden wird. Die Anode ist aber bedeutungsvoll für die Herstellung der Röhre. Es ist nämlich notwendig, die Röhre während des Auspumpens zu belasten, da anderenfalls das von den Metalleitern stets okkludierte Gas nicht genügend entfernt wird und später beim Betriebe des Rohres herausdiffundiert und das Vakuum verdirbt. Würde man nun bei der Belastung während des Pumpens,

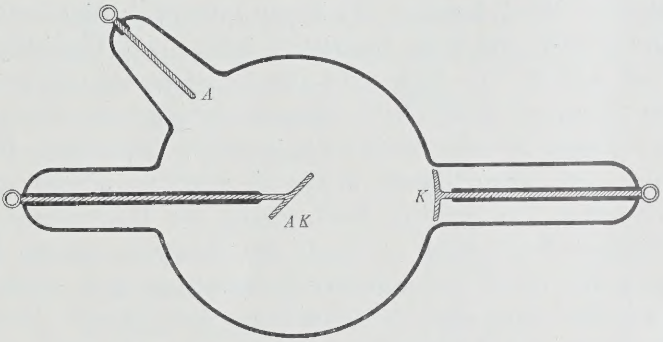


Fig. 2. Röhre mit drei Elektroden nach Röntgen.

also bei noch nicht genügendem Vakuum, die Platinantikathode als eine Elektrode benutzen, so würde diese in beträchtlichem Maße zerstäuben, was vermieden werden muß. Das Aluminium aber zerstäubt weniger stark als das Platin. Man benutzt daher, solange das Vakuum noch nicht gut genug ist, allein die Aluminiumanode. Unbedingt erforderlich ist freilich eine besondere Aluminiumanode nicht, und es werden von verschiedenen Firmen Ionenröhren hergestellt, die keine besondere Anode besitzen.

Wie bereits erwähnt wurde, verlangt die Diagnostik vom Röntgenrohr die Innehaltung eines bestimmten, je nach der Art des zu durchleuchtenden Objektes etwas verschiedenen Härtebereiches. Hier ergibt sich für die Ionenröhren eine grundsätzliche Schwierigkeit. Da sich nämlich an einem Ionenrohr unter sonst gleichen Bedingungen nicht eine beliebige Spannung aufrecht erhalten läßt, sondern sich die Spannung automatisch je nach dem in der Röhre herrschenden Gasdruck einstellt, so ist es erforderlich, in der Nähe jeweils einen ganz bestimmten Druck für die Dauer der Untersuchung aufrecht zu erhalten und je nach dem Objekt entweder verschiedene Röhren zu benutzen oder den Gasdruck dem jeweiligen Zweck anzupassen. Beides hat seine Schwierigkeiten. Die Röhren haben nämlich die unangenehme Neigung, beim Betriebe selbst ihren Gasdruck zu verändern. Wird ein Ionenrohr relativ stark belastet, so daß stärkere Erwärmung auftritt, so wird an den Elektroden oder der Glaswand okkludiertes Gas frei. Der Druck steigt an und die Röhre wird weicher. Dadurch steigt der Röhrenstrom an. Die Belastung wird also noch größer, und das Weichwerden wird noch stärker, wenn man es nicht durch Abdrosseln des Stromes verhindert. Wird dagegen eine Röhre schwach belastet, so sinkt der in ihr herrschende Druck nach und nach vermutlich infolge von Gasokklusion durch zerstäubtes Elektrodenmetall. Das Rohr wird also immer härter und erreicht schließlich einen Punkt, wo überhaupt keine gleichmäßige Entladung mehr durch das Rohr hindurchzubringen ist. Damit ist dann das Rohr unbrauchbar geworden. Daneben hat das Härterwerden noch eine zweite Ursache in Gestalt einer als „Pseudohochvakuum“ bezeichneten Erscheinung, die in einer Veränderung der Elektrodenoberflächen — vielleicht einer Wasserstoffverarmung — durch den Gebrauch besteht und die bewirkt, daß selbst, wenn ein unter gewöhnlichen Verhältnissen noch genügender Druck vorhanden ist, keine Entladung mehr durch das Rohr hindurchgeht. Doch ist eine völlig befriedigende Erklärung dieser Erscheinung bisher nicht gefunden[1]).

Während sich das Weichwerden eines Ionenrohres durch Vermeidung der Überlastung verhindern läßt, gibt es gegen das Hartwerden keine völlige Abhilfe. Solange es sich nicht um das Pseudohochvakuum handelt, läßt sich das zu hart gewordene Rohr wieder weicher machen durch Regeneriereinrichtungen verschiedener Art, die sämtlich darauf beruhen, daß dem Rohr wieder geringe Gasmengen zugeführt werden. Eine relativ einfache Regeneriervorrichtung besteht darin, daß man an das Röntgenrohr ein zweites kleines Entladungsrohr ansetzt, das Elektroden enthält, die beim Stromdurchgang Gas abzugeben vermögen. Solche Elektroden lassen sich z. B. aus Glimmerblättchen oder aus Kohlestäbchen herstellen oder auch aus anderen Stoffen, über die die Hersteller manchmal keine näheren Angaben machen. Fig. 3 möge eine solche Regeneriereinrichtung näher erläutern.

Das Ansatzrohr *R* enthält die Regeneriereinrichtung mit der Glimmerscheibe *G*. An den Elektroden der Regeneriervorrichtung sind zugespitzte Drähte *DD* angebracht,

---

[1]) Vgl. hierüber P. Knipping, *Naturwissenschaften* ***11.*** *S. 576. 1923.*

die so angeordnet sind, daß ihre Spitzen bestimmte Abstände *FF* von den Stromzuführungspunkten des Röntgenrohres innehalten. Sobald nun das Rohr zu hart wird, steigt an ihm die Spannung. Die Luftstrecken *FF* werden durchschlagen, und die Entladung bahnt sich einen Weg durch das Regenerierröhrchen *R* und macht hierbei so lange aus dem Glimmerblättchen Gas frei, bis der Druck so weit angestiegen ist, daß die Entladung wieder ihren normalen Weg durch die Röntgenröhre hindurch einschlägt. Durch Veränderung der Abstände *FF* läßt sich der Moment des automatischen Regenerierens regulieren.

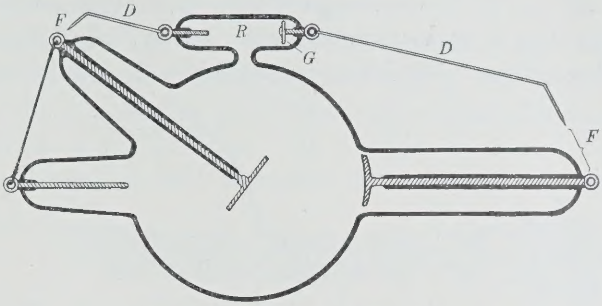


Fig. 3. Regenerierbare Röntgenröhre.
R Regeneriereinrichtung, *G* Glimmerscheibe, *DD* Drähte, *FF* Luftstrecken

Eine andere vielfach angewandte Regeneriervorrichtung ist die sog. „Osmoregenerierung“. Diese besteht aus einem kleinen einseitig verschlossenen Palladiumröhrchen, das mit seinem offenen Ende durch die Glaswand der Röntgenröhre hindurchgeführt und eingeschmolzen ist. Erhitzt man ein solches Röhrchen im Bunsenbrenner, so wird es für Wasserstoff durchlässig. Dieser diffundiert dann langsam aus der Flamme in das Rohr hinein und setzt den Druck herab. Auch diese Einrichtung läßt sich automatisch gestalten, indem man nach Wintz[1]) den Röhrenstrom eine elektromagnetische Steuervorrichtung passieren läßt, welche die Gaszufuhr zu einer ständig unter dem Palladiumröhrchen brennenden Gasflamme so regelt, daß diese bei zu geringer Stromstärke das Röhrchen umspült, so daß die Regenerierung in Tätigkeit tritt. Hat der Strom wieder den gewünschten Wert erreicht, so wird die Flamme automatisch wieder gedrosselt, und das Röhrchen wird wieder undurchlässig.

Die Bauer-Regulierung, die Fig. 4 darstellt, ist ein für gewöhnlich durch Quecksilber verschlossenes Ventil *V*, in welchem sich ein poröses Tonplättchen befindet. Mit einem kleinen Luftdruckballon kann das Quecksilber für einen Augenblick verdrängt werden, so daß ein kleines Luftquantum die Poren passieren und in das Innere des Röntgenrohres gelangen kann.

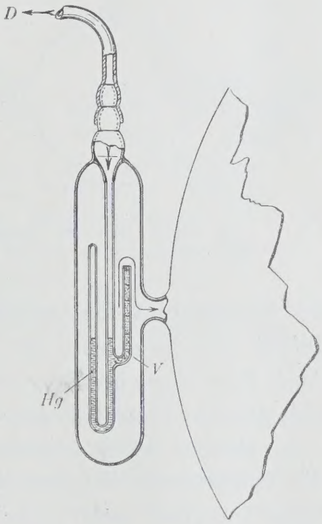


Fig. 4. Bauerregulierung.
V Ventil, *Hg* Quecksilberfüllung, *D* zum Druckballon.

Um die Belastbarkeit der Röntgenröhren möglichst zu vergrößern, ist es von besonderer Wichtigkeit, für eine gute Abfuhr der stets entwickelten Wärme zu sorgen. In erster Linie ist die Antikathode, insbesondere der Brennfleck, der Gefahr zu großer Erwärmung ausgesetzt. Dieser Gefahr sucht man auf verschiedene Art zu begegnen. Vor allem wählt man Stoffe mit hohem Schmelzpunkt, wie das schon erwähnte Platin als Antikathodenmaterial. Noch günstiger und dabei billiger ist das Wolfram, das heute das Platin weitgehend verdrängt hat. Um die Wärme möglichst schnell vom Brennpunkt und seiner näheren Umgebung fortzu-

[1]) *Münch. med. Wochenschr. 1916. Nr. 11*

leiten, bettet man vielfach die eigentliche Antikathode in einen dicken Kupferklotz ein. Dieser wird ausgehöhlt, und in die Höhlung kommt ein besonderer metallener Kühlkörper, der an seinem äußeren Ende Kühlrippen trägt. Bei einem derartigen Rohr wird also die überschüssige Wärme durch Wärmeleitung an die Außenluft abgegeben. Die Fig. 5 veranschaulicht eine solche luftgekühlte Antikathode, wie sie z. B. bei Erzeugnissen der Röntgenröhrenfabrik Gundelach in Gehlberg angewandt wird.

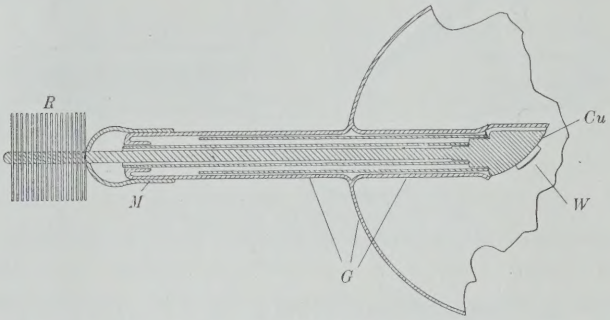


Fig. 5. Röhre mit Luftkühlung.
R Kühlrippen, *M* Metallkappe, *G* Glas, *Cu* Kupfer, *W* Wolfram.

Intensiver als die Luftkühlung wirkt die Wasserkühlung besonders als sog. Siedekühlung. Um diese anzuwenden, wird auf die hohle Antikathode außen ein nicht zukleines, meist kugelförmiges Glas- oder Metallgefäß aufgesetzt, das mit Wasser gefüllt werden kann. Das Wasser erwärmt sich beim Betriebe bis zum Sieden und vermag beim Verdampfen infolge der beträchtlichen Verdampfungswärme recht große Wärmemengen zu verbrauchen. Soll die Röhre für besonders lange dauernde Durchleuchtungen, wie sie z. B. bei Magen-, Darm-, Herz- oder Lungenuntersuchungen vorkommen, benutzt werden, so muß auch auf eine Kühlung der Kathode Bedacht genommen werden. Man pflegt auch die Kathode dann auf einen kräftigen Metallstiel aufzusetzen und diesen eventuell an seinem Außenende noch mit Kühlrippen zu versehen. Fig. 6 zeigt die schematische Darstellung einer so ausgerüsteten Röhre.

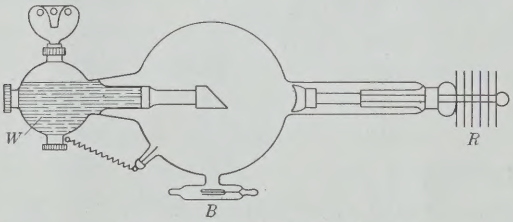


Fig. 6. Röhre mit Siedekühlung.
W Wasserkühlung, *B* Bauerventil, *R* Rippenkühlung.

Der eigentümlich geformte Aufsatz auf dem Siedegefäß soll einmal das Herausspritzen des Wassers beim Sieden verhüten, zweitens einen Teil des entstehenden Dampfes kondensieren und in das Gefäß zurückfließen lassen und drittens als eine Art Trichter zum Einfüllen des Wassers dienen. Das Innere der Kupferhülse der Antikathode ist zur Vermeidung des Siedeverzuges mit Glasperlen gefüllt, die durch eine geschlitze Siebtrommel vor dem Herausfallen geschützt sind. Auch diese Einrichtungen sind nach Angaben der Firma Gundelach beschrieben, finden sich aber in ähnlicher Art auch an den Fabrikaten anderer Firmen.

Manche Ärzte neigen noch heute zu der Ansicht, daß für diagnostische Zwecke die Ionenröhren den gasfreien Röhren, die mit einer Glühkathode versehen sind, überlegen sind, und zwar deshalb, weil sich in den Ionenröhren vermöge der Hohlspiegelform der Kathode schärfere Brennflecke erzielen lassen. Es ist aber fraglich, ob dieser Vorteil, wenn er den modernen Elektronendiagnostikröhren gegenüber wirklich noch besteht, nicht reichlich aufgewogen wird durch erhebliche Vorzüge, die die Elektronenröhren ohne Zweifel besitzen. Jedenfalls finden heute auch für diagnostische Zwecke die Elektronenröhren reichliche Verwendung. Ihre Konstruktion wird nunmehr beschrieben werden.

Die Elektronenröhren haben vor allem den großen Vorteil, daß der bei den Ionenröhren unvermeidliche unzuverlässige Gasinhalt keine Rolle spielt. Die Röhren

sind so hoch wie irgend möglich evakuiert, so daß bei nicht glühender Kathode überhaupt keine Entladung durch die Röhren hindurchzubringen ist. Erst wenn die Kathode hell, fast weiß, erglüht, setzt der Strom ein, und die Röhre kann dann nach Belieben mit den verschiedensten Spannungen betrieben werden.

Wir wollen uns an erster Stelle mit der Lilienfeld-Röhre beschäftigen, weil sie die älteste praktisch brauchbare Form einer Elektronenröhre darstellt. Die Lilienfeld-Röhre ist als Universalröhre für alle Zwecke der medizinischen Röntgentechnik gedacht, sowohl für Diagnostik als auch für Therapie. Fig. 7 möge die Bauart der Röhre, wie sie von der Firma Koch und Sterzel vertrieben wird, veranschaulichen.

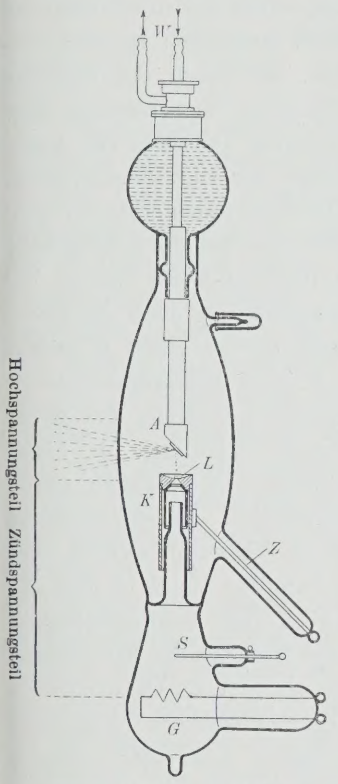


Fig. 7. Lilienfeld-Röhre.
A Antikathode, K Lochkathode, L Loch, Z Zuleitung, S Sonde, G Glühkathode, W Zu- und Abfluß des Wassers.

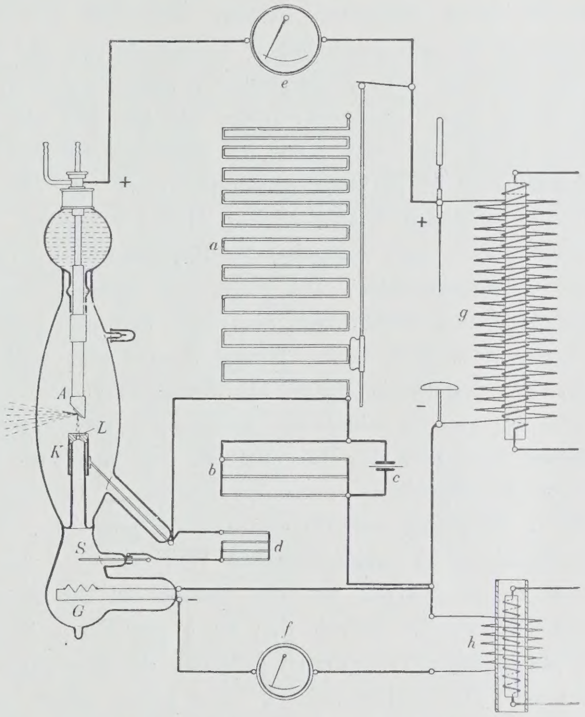


Fig. 8. Schaltplan zur Lilienfeld-Röhre.
h Heiztransformator, f Amperemeter, g Induktor, a b Abzweigewiderstände, e Milliamperemeter, c Kondensator, d Regulier-Widerstand.

Wie man sieht, besteht die Röhre aus zwei Entladungsräumen, dem unteren in der Figur mit Zündspannungsteil bezeichneten und darüber dem Hochspannungsteil. Der untere Raum enthält die Glühkathode G, die aus einem Wolframfaden besteht und ihrem Aussehen nach einem Glühfaden einer gewöhnlichen Lampe gleicht. Außerdem befindet sich hier noch eine Sonde S. Nach oben zu ist der Zündspannungsteil verjüngt und gegen den Hochspannungsteil nahezu abgeschlossen durch die sog. Lochkathode K, die durch eine besondere Zuleitung nach außen geführt ist. Die Lochkathode besitzt in der Mitte eine enge Bohrung, die die Verbindung mit dem Hochspannungsteil darstellt, und ist an ihrem oberen Ende hohlspiegelartig geformt. Im Inneren befindet sich eine Quarzauskleidung, die nur die unmittelbare Umgebung des Loches freiläßt. Der Bohrung nahe gegenüber im Hochspannungsteil der Röhre ist die Antikathode A, die als Hohlelektrode mit Wasserkühlung ausgebildet ist, an-

geordnet. Das Kühlwasser wird durch eine besondere gegen Hochspannung isolierte Pumpe dauernd in Zirkulation erhalten. Die Betriebsweise der Lilienfeld-Röhre möge an Hand der Fig. 8 beschrieben werden.

Wir sehen hier bei *h* einen kleinen Heiztransformator, der dazu dient, die Glühkathode auf die nötige Temperatur zu bringen. Der Heizstrom wird in dem Amperemeter *f* kontrolliert. Die Hochspannungsquelle ist der Induktor *g*. Seine Gesamtspannung wird durch die regulierbaren Abzweigwiderstände *a* und *b* geteilt. Der kleinere von *b* abgenommene Teil der Spannung liegt zwischen der Glühkathode und der Lochkathode. Er beträgt meist nur einige hundert Volt. Die von der Glühkathode emittierten Elektronen werden von dieser Spannung erfaßt und in die Bohrung der Lochkathode hineingetrieben. Sie lösen dort bei ihrem Auftreffen an den vom Quarz nicht bedeckten Stellen sekundäre Elektronen aus, die durch die Bohrung hindurch in den eigentlichen Entladungsteil der Röhre gelangen. Hier herrscht aber das Feld der vom Widerstande *a* abgenommenen Hochspannung zwischen der Lochkathode und der Antikathode, die bis fast zur vollen Höhe der Induktorspannung, also bis zu 150 oder mehr kV gesteigert werden kann. Die Elektronen erlangen demgemäß sehr große Geschwindigkeiten, so daß sie beim Auftreffen auf die Antikathode Röntgenstrahlen beträchtlicher Härte erzeugen. Die Lilienfeld-Röhre bietet die Möglichkeit einer weitgehenden Regulierung sowohl der Intensität als auch der Härte der Röntgenstrahlen. Die erstere ist bedingt durch die Zahl der zwischen *K* und *A* übergehenden Elektronen, also dem Entladungsstrom, der in dem Milliamperemeter *e* abgelesen werden kann. Dieser Strom läßt sich bei konstanter Heizung der Glühkathode regulieren durch die zwischen *G* und *K* herrschende Spannung. Je höher diese ist, um so reichlicher werden die sekundären Elektronen in *K* ausgelöst, um so größer wird also der Röhrenstrom und damit die Strahlenintensität. Um die Strahlenhärte zu regulieren, muß die Spannung zwischen *K* und *A* verändert werden, was durch Verstellen des Widerstandes *a* geschieht. Der zwischen der Sonde *S* und der Lochkathode *K* angeschlossene Widerstand *d* hat den Zweck, die Regulierfähigkeit noch zu vermehren. Er wird jedoch ein für allemal bei der Montage der Einrichtung fest eingestellt. Durch den zu *b* parallelen Kondensator *c* sollen durch eventuelle Hochfrequenzschwingungen entstehende Spannungen von der Glühkathode fortgeleitet werden. Das Lilienfeld-Prinzip bietet somit die Möglichkeit, mit einer einzigen Röhre nach Belieben intensive und weniger intensive, harte und weiche Röntgenstrahlen herzustellen, ohne einer Regeneriereinrichtung zu bedürfen. Der Brennfleck der Lilienfeld-Röhre ist der Bohrung der Lochkathode entsprechend, von der ja die wirksamen Elektronen im wesentlichen ausgehen, von der Form eines kleinen Ringes und läßt sich wohl schwerlich so klein machen, wie dies bei einem Ionenrohr möglich ist. Doch zeichnet die Röhre für die meisten Zwecke genügend scharf.

Neuerdings ist die Konstruktion der Röhre vereinfacht worden, wodurch einmal ihre Handhabung erleichtert und außerdem ihr Preis erniedrigt wird.

Gleichwohl ist die Lilienfeld-Röhre ein relativ komplizierter Apparat im Vergleich zu der wenig später bekannt gewordenen Coolidge-Röhre, die ebenfalls als Elektronenröhre Intensität und Härte der Strahlen unabhängig voneinander zu regulieren erlaubt. Diese Röhre enthält weiter nichts als die Glühkathode und die Antikathode. Die erstere besteht aus einer eng zusammengedrehten Spirale aus blankem Wolframdraht, die der Antikathode im hohen Vakuum nahe gegenübersteht. Um die Elektronen in einem Brennfleck zu vereinigen, ist die Glühspirale von einem kleinen Zylinder aus Molybdän umgeben, wodurch der Verlauf der Kraftlinien zwischen Glüh-

draht und Antikathode im erwünschten Sinne beeinflußt wird. Vgl. dazu Fig. 9, die eine Coolidge-Diagnostikröhre mit Wasserkühlung darstellt, und Fig. 10, die das Konstruktionsprinzip der Glühkathode erkennen läßt.

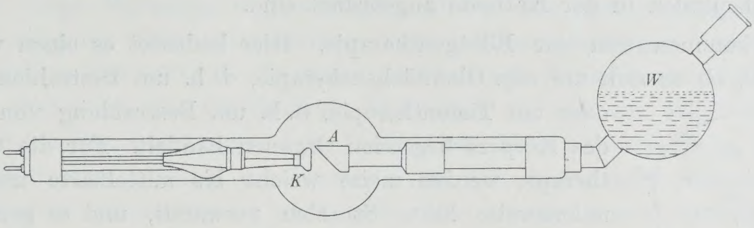


Fig. 9. Coolidge-Diagnostikröhre mit Wasserkühlung.
W Wasser, *K* Glühkathode, *A* Antikathode.

Man pflegt die Coolidge-Röhren nicht als Universalröhren für Diagnostik und Therapie verwendbar zu konstruieren, sondern bildet für beide Zwecke verschiedene Formen aus. Die Diagnostikröhren sind äußerlich meist an ihrem kürzeren und gedrungeneren Bau zu erkennen, entsprechend den nicht allzu hohen Spannungen, die sie auszuhalten haben. Auch pflegen sie mit Luft- oder Wasserkühlung ausgerüstete Antikathoden zu besitzen, da man von ihnen wenigstens für kurze Zeit oft beträchtliche Strombelastungen verlangen muß. Die Schärfe des Brennfleckes kann durch die Gestalt des die Spirale umgebenden Molybdänzylinderchens, das häufig an die Hohlspiegelform der Ionenröhrenkathoden erinnert, sehr weit getrieben werden, wenn es auch nicht gelingt, wirklich alle Elektronen zu konzentrieren. Man sieht daher auf hinreichend lange exponierten sog. Lochkammeraufnahmen von Coolidge-Röhren meist die ganzen Konturen der Antikathode angedeutet. Da die Flächenhelligkeit des Brennflecks aber ein Vielfaches der Helligkeit seiner Umgebung beträgt, leidet hierunter die Zeichnungsschärfe der Röhren im allgemeinen nicht merklich. Ein besonderer Kunstgriff ist bei der sog. Media-Röhre der Firma C. H. F. Müller angewandt. Bei dieser Röhre ist der Glühdraht nicht wie sonst meist üblich eine ebene Spirale, sondern eine enge Schraubenlinie, deren Achse auf der Röhrenachse senkrecht steht. Ein auf der Rückseite angebrachter parabolischer Zylinderspiegel vereinigt die Elektronen in einem langgestreckten schmalen Bande auf der Antikathode. Beim Gebrauch wird derjenige Teil der Strahlung benutzt, der die Antikathode in der Richtung dieses bandförmigen Brennfleckes unter einem sehr flachen Winkel verläßt, so daß der Brennfleck vom Objekt aus gesehen in stark verkürzter Projektion und daher sehr klein erscheint.

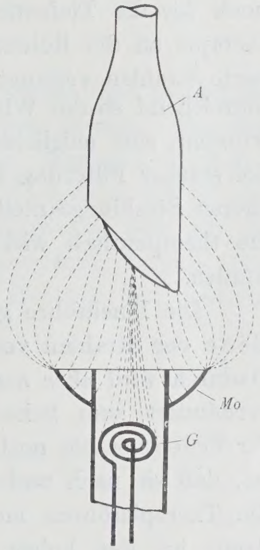


Fig. 10. Konstruktionsprinzip der Glühkathode.
G Glühspirale, *Mo* Molybdänzylinder, *A* Antikathode.

Eine weitere besonders interessante Form der Coolidge-Diagnostik-Röhre ist die „Dofok"-Röhre der Phoenix-Röntgenröhren-A.-G. Diese Röhre besitzt zwei verschiedene Glühspiralen, die wahlweise zu benutzen sind. Die eine ergibt einen besonders scharfen Brennfleck, der für die Widergabe feinster Einzelheiten geeignet ist. Dabei darf jedoch die Stromstärke 15 bis 20 Milliampere nicht überschreiten, da sonst durch die starke Energiekonzentration in dem kleinen Fleck ein Schmelzen

der Antikathode eintritt. Die zweite Glühspirale liefert einen weniger scharfen Brennfleck, erlaubt aber dafür Belastungen bis zu 100 Milliampere und leistet daher für Momentaufnahmen gute Dienste. Aus Fig. 11 ist zu ersehen, in welcher Weise die beiden Glühspiralen in der Kathode angeordnet sind.

Wir kommen nun zur Röntgentherapie. Hier bedeutet es einen wesentlichen Unterschied, ob es sich um sog. Oberflächentherapie, d. h. um Bestrahlung der Haut oder um Tiefentherapie, d. h. um Bestrahlung von im Innern des Körpers liegenden Organen handelt. Für die Oberflächentherapie werden meist weiche bis mittelharte und nur ausnahmsweise harte Strahlen verwandt, und es genügen meist Röhren mit geringer Leistung, so daß es hierfür der Konstruktion besonderer Typen nicht bedarf. Höchstens wäre zu erwähnen, daß man zur Erzielung extrem weicher Strahlen, die in der Glaswand eines gewöhnlichen Röntgenrohres schon beträchtlich absorbiert werden, Röhren mit einem Fenster aus sog. Lindemannglas, d. i. ein aus Lithium, Beryllium und Bor, also aus lauter Stoffen mit geringem Atomgewicht, zusammengesetztes Glas, herstellt. Ein scharfer Brennfleck ist weder für die Oberflächentherapie noch für die Tiefentherapie vonnöten. Aber in anderer Hinsicht stellt die Tiefentherapie an die Röhrentechnik erhebliche Anforderungen. Einmal werden möglichst harte Strahlen verlangt, um bei größtmöglicher Schonung der Körperoberfläche noch hinreichend starke Wirkungen in der Tiefe zu erzielen. Dabei ist es gleichzeitig erwünscht, eine möglichst große Strahlenintensität zur Verfügung zu haben, damit auch bei starker Filterung durch beispielsweise 1 mm Kupfer oder mehr, welche den weicheren Strahlungsanteil völlig zurückhält, noch so viel Intensität übrig bleibt, daß die therapeutisch wirksamen Dosen in nicht allzu langer Bestrahlungszeit erreicht werden.

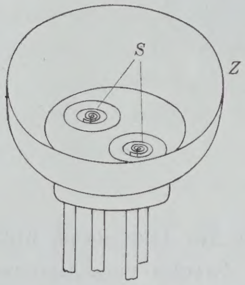


Fig. 11. Dofok-Röhre.
S Glühspiralen,
Z Konzentrationszylinder.

Die Ionenröhre gerät durch diese Forderungen in eine Art Zwickmühle. Große Härte der Strahlen vermag sie nur zu liefern, wenn ihr Gasinhalt stark reduziert ist. Dadurch wird aber zugleich die Zahl der Elektrizitätsträger für den Stromdurchgang vermindert zum Schaden der Strahlungsintensität. Gleichwohl werden Ionenröhren für Tiefentherapie noch hergestellt und viel verwendet, wenn auch wohl anzunehmen ist, daß sie nach und nach durch Elektronenröhren verdrängt werden. Man erkennt die Therapieröhren meist an ihrem langen Kathodenhals, welcher erforderlich ist, damit bei den hohen Spannungen, die man für die harten Strahlen benötigt, kein Überschlag außen um die Röhre herum erfolgt. Da die Röhren Dauerbetrieb vertragen müssen, haben die Antikathoden meist Wasserkühlung und gleichzeitig die Kathoden Rippenkühlung. Auch die Lilienfeld-Röhre ist für Tiefentherapie ohne weiteres verwendbar. Doch ist die Tiefentherapie recht eigentlich die Domäne der Coolidge-Röhre. Bei geeigneter langer Form verträgt sie die höchsten in Frage kommenden Spannungen, und ihre Stromstärke ist nur begrenzt durch die Gefahr, daß bei unzureichender Kühlung die Antikathode angestochen wird. Die Antikathodenkühlung ist also der Kernpunkt bei der Konstruktion von Coolidge-Röhren für Tiefentherapie. Die ersten in der Praxis erschienenen Coolidge-Therapie-Röhren, die eine Belastung von 2 bis 3 Milliampere bei etwa 180 kV Spannung längere Zeit vertrugen, hatten als Antikathoden massive Wolframklötze von 2 bis 3 ccm Volumen an einem relativ dünnen Wolframstil. Beim Betriebe geraten diese Antikathoden in helle Glut. Hierbei wird die Wärmeausstrahlung so stark, daß eine weitere Kühl-

einrichtung gar nicht mehr erforderlich ist. Die schematische Darstellung einer solchen Therapieröhre zeigt die Fig. 12.

Bei den modernen Hochleistungs-Röhren gibt man der Antikathode vielfach die Form einer einige Millimeter dicken Wolframplatte. Die dadurch vergrößerte Oberfläche begünstigt die Wärmeausstrahlung. Solche Röhren vertragen Dauerbelastungen mit 8 Milliampere bei 220 kV. Da dabei die Antikathode nahezu weißglühend wird, so gibt sie ebenso wie die Glühkathode Elektronen ab, was zur Folge hat, daß die Röhre für beide Stromrichtungen durchlässig wird. Man ist daher beim Betrieb mit einem Transformator genötigt, ein Ventil in den Röhrenstromkreis einzuschalten, das die ungewünschte Stromrichtung abdrosselt. Man nimmt hierzu entweder synchron umlaufende Nadelschalter oder Glühkathodenventile. Fig. 13 zeigt eine Hochleistungs-Röhre solcher Art.

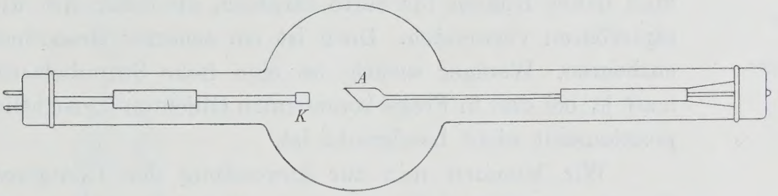


Fig. 12. Coolidge-Therapie-Röhre.
K Glühkathode, *A* massive W-Antikathode.

Für bestimmte ärztliche Spezialzwecke sind noch eine große Zahl besonderer Röhren konstruiert worden, die hier nicht alle besprochen werden können. Wer sich für die historische Entwicklung, die gelegentlich krause Wege gegangen ist, näher interessiert, sei z. B. auf eine Mitteilung von F. Voltz und F. Zacher in Bd. 27 der *Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen, S. 82 bis 98,* hingewiesen oder auf die Spezialwerke über Röntgentechnik, z. B. J. Rosenthal, Röntgentechnik, Leipzig 1924 (Sonderabdruck aus dem Lehrbuch der Röntgenkunde von Rieder und Rosenthal, Bd. II).

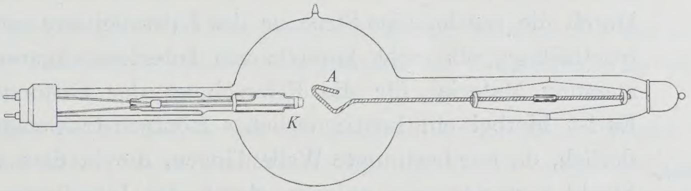


Fig. 13. Hochleistungsröhre.
K Glühkathode, *A* Plattenförmige Antikathode.

Ehe wir die medizinischen Röntgenröhren verlassen, sollen noch kurz zwei Röhrentypen erwähnt werden, die in neuerer Zeit bekannt geworden sind, aber eine Verbreitung in der Praxis bisher nicht gefunden haben. Die eine ist eine Hochvakuumröhre ohne Glühkathode, mit der im Jahre 1920 Lilienfeld[1]) in die Öffentlichkeit trat. Die Röhre enthält als Kathode eine oder mehrere scharfe Metallspitzen, die einer Metallplatte als Antikathode gegenübergestellt sind. Es scheint unter Umständen möglich zu sein, durch eine solche Röhre selbst in einem hohen Vakuum erhebliche Ströme hindurchzuschicken. Lilienfeld führte solche Röhren in der Berliner Physikalischen Gesellschaft vor und erregte damit allgemeines Interesse. Doch haben diese Röhren in die Praxis bisher keinen Eingang gefunden.

[1]) *Leipziger Ber.* **72**. *S. 31. 1920.*

Eine andere interessante Form ist eine ganz aus Metall hergestellte Röhre, die von der holländischen Firma N. V. Philips Gloeilampenfabrieken in Gindhoven entwickelt worden ist[1]). Da sich das Metallgehäuse der Röhre beim Betriebe erden läßt, kann man eine solche Röhre sehr nahe an das zu durchleuchtende oder zu bestrahlende Objekt heranbringen und dadurch mit relativ großen Intensitäten arbeiten. Mit dieser Röhre scheint ein neuer aussichtsreicher Weg für die medizinische Röntgentechnik eröffnet zu sein, der freilich im Prinzip von den Röntgenstrahlenphysikern schon viel früher für rein wissenschaftliche Zwecke beschritten wurde, wie wir weiter unten noch sehen werden.

Die „technische Diagnostik", d. h. die Röntgenuntersuchung von Werkstücken und dgl. unterscheidet sich von der medizinischen nur dadurch, daß die zu untersuchenden Objekte, meist Metalle, sehr stark absorbieren. Man muß daher Röhren für harte Strahlen, ähnlicher Art wie die Therapieröhren verwenden. Doch ist ein scharfer Brennfleck nicht zu entbehren. Weniger wichtig ist eine hohe Strombelastbarkeit, da man ja bei den in Frage kommenden Objekten hinsichtlich der Expositionszeit nicht beschränkt ist.

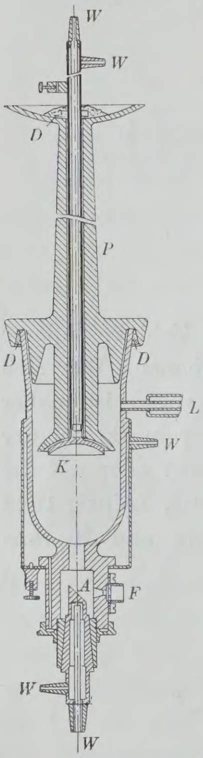


Fig. 14. Porzellan-Metall-Röntgenröhre nach Hadding. *W W*... Kühlwasser-Zu- und Abführungen, *D D* Dichtungen. *P* Porzellanisolator, *K* Kathode, *A* Anode, *F* Fenster, *L* Leitung zur Luftpumpe.

Wir kommen nun zur Anwendung der Röntgenstrahlen als Forschungsmittel in der Wissenschaft und beginnen mit der Kristallographie. Durch die wichtige Entdeckung von Laue, Friedrich und Knipping, daß die Röntgenstrahlen im Raumgitter der Kristalle nach ganz analogen Gesetzen abgebeugt werden wie die Lichtstrahlen etwa in einem Rowlandschen Gitter, erwuchs für die genannte Wissenschaft eine ungemein fruchtbare Untersuchungsmethode. Die zuerst angewandte Technik des sog. „Laue-Diagramms" besteht darin, daß man ein dünnes kreisförmig ausgeblendetes Röntgenstrahlenbündel einen zu untersuchenden Kristall durchsetzen läßt und die durchgehende Strahlung auf einer einige Zentimeter hinter dem Kristall befindlichen photographischen Platte auffängt. Durch die regelmäßige Struktur des Kristallgitters entstehen hierbei regelmäßige, oft recht komplizierte Interferenzfiguren, deren Ausmessung Material für die Erforschung der Gitterstruktur liefert. Es ist hierbei ein kontinuierliches Röntgenstrahlenspektrum erforderlich, da nur bestimmte Wellenlängen, die in dem ursprünglichen Strahl vertreten sein müssen, durch die Interferenz herausgesiebt werden und Beiträge zu der Beugungsfigur liefern. Da die Intensität der abgebeugten Strahlen gering ist, muß man, wenn man nicht gar zu lange Belichtungszeiten anwenden will, mit der Blende und dem Kristall so nahe wie möglich an den Brennfleck der Röntgenröhre herangehen. Dies ist z. B. bei ber Lilienfeld-Röhre mit ihrer schlanken Form ziemlich weitgehend möglich. Da auch die von einer solchen Röhre gelieferte Strahlenzusammensetzung günstig ist, so sind z. B. von dem Leipziger Kristallographen F. Rinne und seinen Schülern mit diesen Röhren schöne Resultate erzielt worden. Es fehlt aber nicht an Spezialkonstruktionen für kristallographische Zwecke. Gut bewährt und u. a. von der Firma Dr. Carl Leiss in Berlin-Steglitz fabrikmäßig hergestellt ist die Porzellan-Metallröntgenröhre von Hadding, die in der Fig. 14 dargestellt ist.

[1]) Vgl. *A. Bouwers, Physica* **4**. *S. 173—179. 1924.*

Die Röhre ist eine Ionenröhre und besteht aus einer Metallhülse von der Form einer Granate, die von einer zweiten Metallhülse umgeben ist. Zwischen beiden Wandungen wird Kühlwasser hindurchgeleitet. Die Kathode *K* sitzt in einem aufgekitteten Porzellanisolator geeigneter Form[1]) und kann ebenfalls durch Wasser gekühlt werden. Am unteren Röhrenende ist ein enger Ansatz für die gleichfalls durch fließendes Wasser gekühlte Antikathode, die mittels eines Schliffes eingesetzt und herausgenommen werden kann. Ein oder mehrere Fenster aus dünnem Aluminium erlauben das Austreten auch weicher Strahlen. Das Rohr ist für dauernden Anschluß an eine Pumpe bestimmt. Es verträgt Spannungen von 30 bis 40 kV bei 10 bis 20 Milliampere. Wie man sieht, kann man bei einem solchen Rohr bis auf wenige Zentimeter an den Brennfleck herankommen. Ein für Laue-Untersuchungen gut geeignetes Glühkathodenrohr,

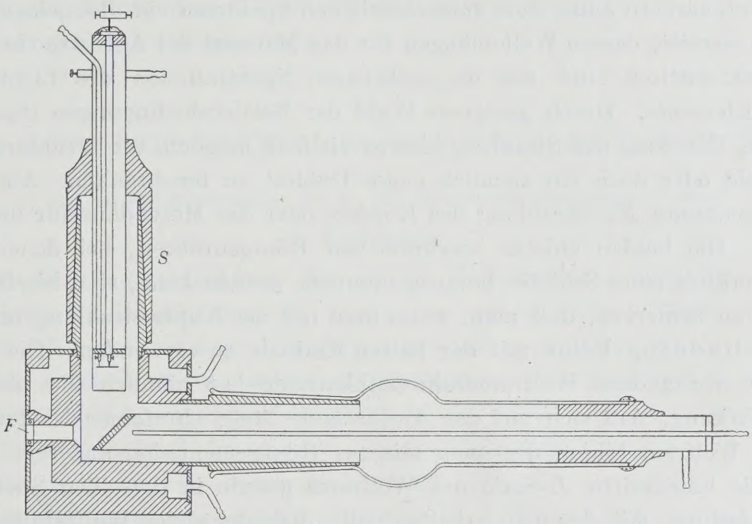


Fig. 15. Glühkathodenrohr von Siegbahn.
S Messingschliff, *F* Fenster.

das allerdings ursprünglich für einen anderen Zweck, nämlich für den Anbau an einen Spektrographen konstruiert worden war, stammt von Siegbahn. Es ist in der Fig. 15 abgebildet.

Der Körper dieses Rohres ist ein geeignet ausgebohrter Würfel aus Schmiedemessing, in den zum Zwecke der Wasserkühlung Kanäle eingefräst sind. Die Glühkathode ist mittels eines Messingschliffes, die Antikathode mittels eines Glasschliffes, in den sie eingekittet wird, aufgesetzt. Beide Elektroden haben Wasserkühlung. Das Rohr eignet sich gut für Spannungen bis 30 kV und verträgt Stromstärken bis zu 100 und mehr Milliampere.

Eine andere kristallographisch wichtige Untersuchungsmethode wurde von Debye und Scherrer[2]) angegeben. Sie hat gegen die Laue-Methode den Vorzug, daß dazu keine wohlausgebildeten Kristalle von einigen Millimetern Durchmesser erforderlich sind. Vielmehr wird dabei das zu untersuchende Material in Form eines feinen Kristallpulvers bestrahlt, welches als eine regellose Anhäufung von lauter sehr kleinen Kriställchen aufzufassen ist. Würde man ein solches Objekt wie bei der Laue-Methode mit einem kontinuierlichen Röntgenspektrum bestrahlen, so würde man keinerlei Beugungs-

---

[1]) Zu beziehen von der Staatl. Porzellanmanufaktur in Berlin.
[2]) *Physikal. Zeitschr.* **18.** *S. 291—301. 1917.*

figuren, sondern nur eine gleichmäßige Streuung erhalten. Anders dagegen, wenn man eine monochromatische Röntgenbestrahlung von einer bestimmten Wellenlänge benutzt. In diesem Falle nämlich findet nur an bestimmten und in bestimmter Weise orientierten Flächen der zahllosen kleinen Kriställchen eine regelmäßige Reflexion der Röntgenstrahlen statt, wobei die als Braggsches Gesetz bekannte Beziehung gilt: $n \cdot \lambda = 2\,d \cdot \sin \varphi$ (λ = Wellenlänge, d = Netzebenenabstand im Kristallgitter, φ = sog. Glanzwinkel, n = Ordnungszahl). Alle Kristallebenen, die in dem Präparat vorhanden sind, aber nicht dieser Bedingung genügen, reflektieren nicht. Man erhält daher wieder eine Interferenzfigur, die aus einer Anzahl konzentrischer Ringe besteht, aus deren Radius und der Wellenlänge die Netzebenenabstände im Kristall zu errechnen sind. Die Möglichkeit, eine monochromatische Röntgenstrahlung zu erzeugen, beruht darauf, daß jede Röntgenröhre außer dem kontinuierlichen Spektrum ein übergelagertes Linienspektrum aussendet, dessen Wellenlängen für das Material der Antikathode in gleicher Weise charakteristisch sind wie die sichtbaren Spektrallinien des Lichtes für die chemischen Elemente. Durch geeignete Wahl der Betriebsbedingungen (Spannung am Röntgenrohr, Filterung der Strahlung) ist es vielfach möglich, die Strahlung praktisch auf eine Linie oder doch ein ziemlich enges Dublett zu beschränken. Am häufigsten wird die sogenannte $K\alpha$-Strahlung des Kupfers oder des Molybdäns für diesen Zweck angewendet. Die beiden zuletzt beschriebenen Röntgenröhren, bei denen die Antikathode vermittels eines Schliffes herausgenommen werden kann, sind hierfür geeignet. Es ist aber zu bemerken, daß man, wenn man mit der Kupferstrahlung arbeiten will, gut tut, die Hadding-Röhre mit der kalten Kathode zu verwenden. Die in der anderen Röhre vorhandene Wolframdraht-Glühkathode hat nämlich die nicht zu vermeidende Wirkung, daß sich auf der Antikathode stets ein feiner Niederschlag von zerstäubtem Wolfram bildet, der auch mit zur Röntgenemission angeregt wird. Nun liegt aber die linienreiche L-Serie des Wolframs gerade in derselben Spektralgegend wie die Kupferlinie, mit der man arbeiten will. Jede der vielen Wolframlinien erzeugt eine ähnliche Interferenzfigur wie die Kupferlinie, und das Ergebnis ist ein schwer zu entwirrendes Durcheinander von Interferenzringen, aus welchem die gewünschten Aufschlüsse über den Kristall zu entnehmen zum mindesten recht schwierig ist. Beim Molybdän ist eine solche Kollision mit Wolframlinien weniger störend, da hier die Linien in verschiedenen Gegenden des Spektrums liegen, so daß die wesentlich weicheren Wolframlinien hinweggefiltert werden können.

Das Braggsche Gesetz gibt uns aber auch ein Mittel an die Hand, mit Hilfe der Röntgenstrahlen eine regelrechte Spektralanalyse auszuführen. Man bringt dazu die zu analysierende Substanz auf die Antikathode einer der zuletzt beschriebenen beiden Röhren etwa, indem man sie, falls sie dazu geeignet ist, auflötet oder mit Klammer oder Schräubchen befestigt, oder falls es sich um ein Pulver handelt, indem man die Antikathode aufrauht und das Pulver einreibt, und läßt nun die entstehende Röntgenstrahlung an einer Kristallfläche von bekanntem d unter verschiedenen Winkeln φ reflektieren. Aus den gefundenen Werten von φ werden die Wellenlängen der auftretenden Spektrallinien nach dem Braggschen Gesetz berechnet und hieraus auf die auf der Antikathode vorhandenen Elemente geschlossen. Unlängst gelang es Coster und Hevesy auf diese Weise mit Hilfe der von Siegbahn ausgearbeiteten Apparatur das bis dahin unbekannte Element mit der Atomzahl 72, das von ihnen „Hafnium“ getauft wurde, in Zirkonmineralien zu entdecken.

Der vorliegende Bericht beschränkt sich darauf, die wichtigsten Typen von Röntgenröhren für die hauptsächlichsten Verwendungszwecke zu beschreiben und zu

erläutern. Von der genauen Beschreibung der einzelnen Konstruktionen bestimmter Firmen mußte daher abgesehen werden. Ebenso konnte auf mancherlei Einzelkonstruktionen für rein wissenschaftliche Zwecke nicht eingegangen werden. Interessenten finden diese Dinge außer an den schon genannten Stellen in den Spezialwerken über Röntgentechnik[1]) und bis zum Jahre 1917 vollständig in dem „Handbuch der Radiologie" von E. Marx, Band V.

Zum Schluß ist es mir eine angenehme Pflicht, allen den Firmen, die mich durch Übersendung von Material für diese Zusammenstellung freundlichst unterstützt haben, meinen Dank auszusprechen. Es sind dies die Firmen Gundelach-Gehlberg, Koch & Sterzel-Dresden, C. H. F. Müller-Hamburg, Osram-Commanditgesellschaft-Berlin, Phoenix-Rudolstadt, Radiologie G. m. b. H.-Berlin, Reiniger, Gebbert und Schall-Erlangen und Veifa-Frankfurt a. Main.

Charlottenburg, Februar 1925.

Ein neuer Kataster-Theodolit und Präzisions-Tachymeter.

Von

Dr. phil. **Georg Breithaupt** und Dr. phil. **Hermann Marchand** in Cassel.

I. Einleitung.

Zufolge der Veröffentlichung „Ein neuer Steilschachttheodolit für Nachtragsmessungen" von Dr. H. Marchand[2]) wurde von verschiedenen Seiten der Wunsch ausgesprochen, daß das bei dem Theodolit angewandte einfache Prinzip der gemeinsamen Ablesung beider Kreise auch auf Instrumente für genauere tachymetrische Aufnahmen über Tage ausgedehnt werden möchte. Durch eine Bestellung der Technischen Hochschule in Delft wurden wir in die angenehme Lage versetzt, einen derartigen Präzisions-Tachymeter bauen zu können.

Die Anregung hierzu gaben die Herren Prof. Hk. J. Heuvelink und Ing. W. Schermerhorn, Delft. Letzterer hat bereits am Schlusse seines Aufsatzes „Vergleichung des neuen Zeiss-Theodolits mit heutigen Konstruktionen"[3]) die Lösung kurz angedeutet. Ihr liegen folgende Gedanken zugrunde:

1. Die Genauigkeit der Beobachtungs- und Kreis-Ablesungsvorrichtungen soll im richtigen Verhältnis zueinander stehen und denjenigen Grad erreichen, der dem besonderen Messungszweck entspricht.

2. Der für die Messungen erforderliche Zeitaufwand soll durch geeignete Anordnung der Konstruktions-Elemente möglichst verringert und dadurch die Wirtschaftlichkeit gesteigert werden.

In vorliegender Form soll das Instrument mehreren Gebrauchszwecken dienen: 1. für Präzisions-Tachymetrie und 2. als Theodolit für Kleintriangulationen und genaue Polygonzugmessungen.

II. Das Fernrohr.

Im allgemeinen ist bei Verwendung eines gewöhnlichen Theodolits für tachymetrische Aufnahmen die Bestimmung des Lattenabstandes auf optischem Wege bedeutend ungenauer, als die Ermittelung der Situations- und Höhenwinkel. Selbst wenn die Winkel nur auf Minuten abgelesen werden, ist die aus den Fehlern der Entfernungsmessung stammende Unsicherheit in den Koordinaten der Zielpunkte bei

---

[1]) Vgl. auch Siegbahn, Spektroskopie der Röntgenstrahlen Berlin 1924.

[2]) *Diese Zeitschr.* **45.** *S. 120. 1925.* [3]) *Diese Zeitschr.* **45.** *S. 33. 1925.*

weitem überwiegend. Infolgedessen wurde zunächst ein sehr hochwertiges lichtstarkes Fernrohr von 35facher Vergrößerung vorgesehen, dessen Okular trotz der starken Vergrößerung noch ein Gesichtsfeld von über 1° vollkommen scharf auszeichnet. Die freie Objektivöffnung beträgt 41 mm, die Einstellung der Zielpunkte erfolgt durch Verschieben einer inneren Schaltlinse mittels des seitlichen Triebknopfes. Das ganze Fernrohr ist vollständig wasser- und staubdicht abgeschlossen; die kürzeste Sehweite beträgt 3 m, auf 350 m kann man noch bequem Bruchteile eines Zentimeterfeldes schätzen.

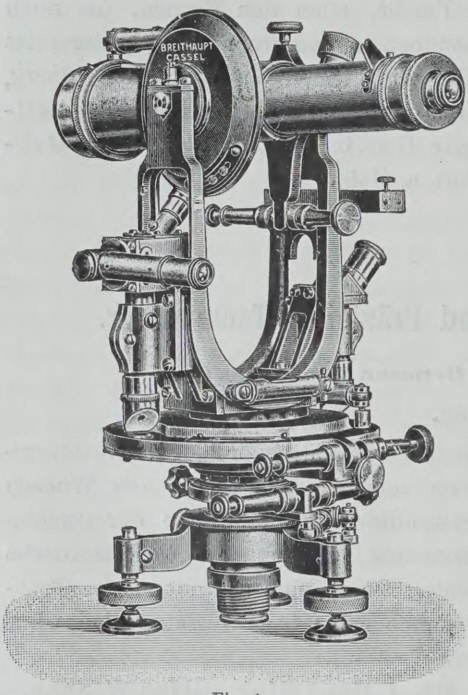


Fig. 1.

Die bei der Distanzmessung mit dem Fadendistanzmesser auftretende Additionskonstante beträgt nur 0,08 m, sie nimmt bei sehr nahen Zielungen von 10 bis 3 m (die im allgemeinen ziemlich selten vorkommen), von 0,07 bis 0,00 m ab. Man kann demnach für gewöhnliche tachymetrische Aufnahmen das Fernrohr ohne Bedenken als anallaktisch bezeichnen, während bei der Präzisions-Tachymetrie die geringe Konstante sich leicht berücksichtigen läßt.

Um auch bei Kleintriangulation und genaueren Polygonzugmessungen die höchste Arbeitsgeschwindigkeit und größte Wirtschaftlichkeit zu erzielen, wurde dafür gesorgt, daß sich das Fernrohr mit dem Objektivende durchschlagen läßt. Einerseits ließ sich durch geeignete Wahl der Optik eine Verkürzung der ganzen Fernrohrlänge auf 305 mm erzielen, andererseits konnte durch günstige Gewichtsverteilung der sich stark verjüngende Objektivkopf dichter an die Horizontalachse heranrücken, so daß keine wesentliche Erhöhung des Trägers notwendig wurde.

III. Die Kreisablesung.

Dem doppelten Gebrauchszweck des Instrumentes wurde auch die Art der Kreisablesung angepaßt. Beim Tachymetrieren ist die Schätzung ganzer Minuten an einem einzigen Strichmikroskop vollkommen ausreichend und am praktischsten. Für Kleintriangulationen ist eine erhöhte Ablesegenauigkeit am Horizontalkreis und Ablesung an zwei Stellen erwünscht.

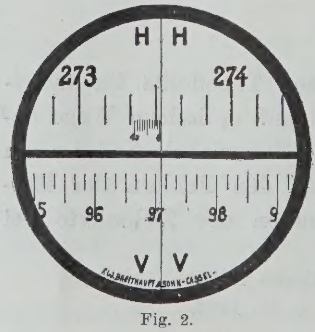


Fig. 2.

Dementsprechend besitzt das Instrument einen mit Repetition versehenen Horizontalkreis von 135 mm Durchmesser der Teilung und mikroskopische, von Grad zu Grad bezifferte Teilung in $^1/_6{}^0 = 10'$. Der konische Höhenkreis von 85 mm Teilungsdurchmesser hat die gleiche Teilung. Beide Kreise sind durch Verdeckungen gut geschützt. Das links sichtbare Doppelmikroskop mit schwenkbarem gebrochenem Okular dient zum gemeinsamen Ablesen beider Kreise vom Standort des Beobachters aus. Nebenstehend ist das Gesichtsfeld abgebildet. Am Ho-

rizontalkreis (durch *HH* gekennzeichnet) können mittels einer zehnteiligen Skala unmittelbar ganze Minuten abgelesen (Tachymetrie) und $^1/_{10}{}' = 6''$ geschätzt werden (Triangulation); am Vertikalkreis (*VV*) werden mit Hilfe des senkrechten Indexstriches einzelne Minuten geschätzt. Die Intervalle auf beiden Teilungsbildern sind zwar verschieden groß, die Ablesung beim Tachymetrieren ist jedoch gleichartig und geht sehr schnell von statten, ohne daß Verwechselungen vorkommen können. Sollen nur Horizontalwinkel gemessen werden, so läßt sich das Gesichtsfeld des Höhenkreises durch einen kleinen, an der Verdeckung angebrachten Schieber, wie von verschiedenen Ingenieuren gewünscht, abblenden. Die Abstimmung des Skalenmikroskopes auf die Teilung erfolgt in einfacher Weise durch Zuhilfenahme einer schwachen Schaltlinse von geeignetem Brechungsvermögen. Im übrigen ist das Prinzip der gemeinsamen Ablesevorrichtung das gleiche wie beim Steilschacht-Theodolit der Firma F. W. Breithaupt & Sohn.

Für Triangulationen und genauere Polygonzugmessungen dient noch ein zweites einfaches, um 180^0 gegenüberstehendes Skalenmikroskop mit sehr bequemem, unter 45^0 gegen die Vertikale geneigtem Einblick. Für etwaige Nivellements kann auf dem Fernrohr eine Wendelibelle angebracht werden, ferner eine Kastenbussole am Träger zur Orientierung oder eine röhrenförmige Bussole nach Goulier.

IV. Aufstellung und Gebrauch.

Der Dreifuß des Instrumentes läßt sich wie üblich mittels einer Schraubenstange auf dem Stative befestigen. Zur Horizontierung dienen zwei Kreuzlibellen auf der Verdeckung des Horizontalkreises. Zum Transport wird der Tachymeter in einfachster Weise liegend in einem Kasten ($470 \times 235 \times 195$ mm^3) verpackt, derart, daß nach dem Öffnen des Deckels der Theodolit sofort zur Messung bereit herausgenommen werden kann. Das Gewicht des Instrumentes beträgt 6 kg, das Gewicht des Statives mit einschiebbaren Beinen 6 kg.

Für sehr genaue Polygonzugmessungen, z. B. Stadtvermessungen, Tunnel-Absteckungen und bergmännische Arbeiten, insbesondere, wenn kurze Polygonseiten unvermeidlich sind, ist die gleichzeitige Anwendung von Zwangszentrierung empfehlenswert. Als solche verbindet die langbewährte Breithauptsche Steckhülseneinrichtung mit der Zwangszentrierung auch eine Zwangsvertikalstellung und ist daher im höchsten Grade wirtschaftlich, da das nochmalige Horizontieren des Theodolits und der Signale nach dem Umsetzen fortfällt. Die gleichzeitige Benutzung eines optischen Abloters und des neuen Breithauptschen Zentrierstatives mit der sehr leicht gehenden Kreuzschlittenbewegung ermöglicht auch bei stürmischem Wetter ein genaues und schnelles Zentrieren über oder unter einem vermarkten Festpunkte[1]).

V. Zusammenfassung.

Das Instrument besitzt bei gedrungener, stabiler und leichter Bauart ein sehr hochwertiges durchschlagbares Fernrohr von 35facher Vergrößerung und einen durch zwei Skalenmikroskope ablesbaren Horizontalkreis. Es ist infolgedessen vorzüglich für Triangulationen III. und IV. Ordnung und für genaue Polygonzugmessungen geeignet. Die bequeme Ablesung durch Mikroskope mit gebrochenem Einblick und die Durchschlagbarkeit des Fernrohrs gewährt einen hohen Genauigkeitsgrad und größte Arbeitsgeschwindigkeit.

---

[1]) Wegen des rationellen Arbeitsganges vgl. den Aufsatz vonDr. H. Marchand, Über Fortschritte im Bau der Grubenvermessungsinstrumente. *Österr. Montanist. Rundschau 1924, Nr. 17.*

Beim Tachymetrieren gestattet es das verhältnismäßig sehr starke Fernrohr, die optische Entfernungsmessung mittels Distanzfäden sehr genau auszuführen. Die zur Bestimmung der Lage des Geländepunktes außerdem noch erforderlichen Horizontal- und Vertikalwinkel werden in einem gemeinsamen Okular gleichzeitig auf eine Minute abgelesen und wird hierdurch eine beträchtliche Beschleunigung des Arbeitsganges erzielt. Aus diesen Gründen vereinigt das Instrument bei Triangulationen, Polygonzugmessungen und tachymetrischen Aufnahmen die größte Wirtschaftlichkeit mit hoher zweckentsprechender Genauigkeit und ist deshalb vorzüglich für Katasteraufnahmen und feinere technische Vermessungen geeignet. Bei Stadtvermessungen, Tunnelabsteckungen und bergmännischen Arbeiten empfiehlt es sich, zur scharfen und schnellen Zentrierung die Breithauptsche Steckhülseneinrichtung in Verbindung mit dem optischen Abloter und der Kreuzschlittenverschiebung (Fig. 3) zu verwenden.

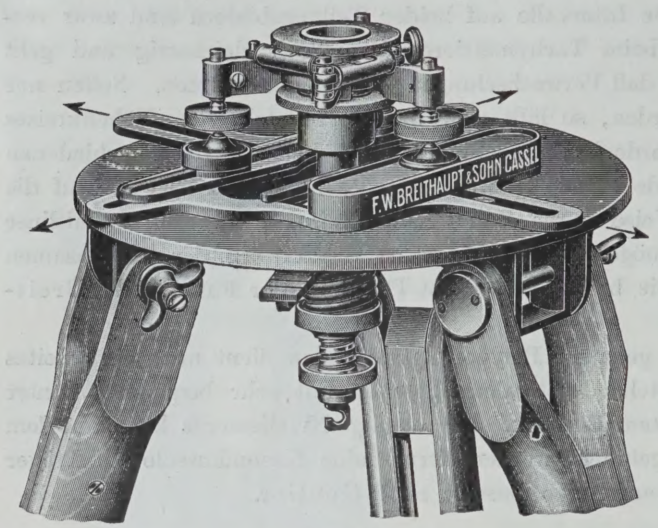


Fig. 3.

Referate.

Spiegelteleskop für die Sternwarte Simeïs-Krim.

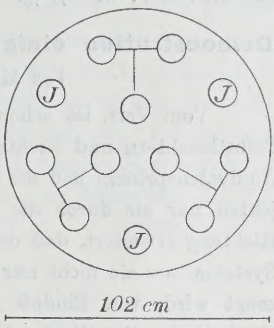
Von Sir Howard Grubb and Sons, Ltd., St. Albans. *Journ. of Scient. Instr.* **2.** *S. 1. 1924.*

Nachdem die Ausführung zweier von der Russischen Regierung im Jahre 1912 bei der Firma Grubb in Auftrag gegebenen Instrumente, eines Refraktors von 81 cm und eines Spiegelteleskops von 1 m Öffnung, durch den Krieg in Stillstand geraten war, wurden die Konstruktionsarbeiten im August 1922 wieder aufgenommen; das Spiegelteleskop ist fertiggestellt und wird in den Werkstätten von St. Albans (Hertfordshire) geprüft.

Der Hauptspiegel dieses Instruments hat 102 cm Durchmesser, 20 cm Dicke und 5 m Brennweite und ist sowohl mit einem Newtonschen Planspiegel als auch mit einem Cassegrainschen Spiegel von 30,5 cm Durchmesser kombiniert, womit eine Äquivalentbrennweite von 16 m erzielt wird, die sich durch zwei Cassegrainsche Zusatzspiegel noch auf 25 und 45 m verlängern läßt. Für die Newtonsche oder Cassegrainsche Anordnung sind auswechselbare Ansatzstücke an den Tubus anzubringen. Der obere Teil desselben wird durch ein zylindrisches Gitterwerk aus gekreuzten Spiralen von Hartaluminium mit Versteifungsringen gebildet und enthält eine innerhalb $7^1/_2$ cm fokussierbare photographische Kassette für Platten $8 \times 8\ cm^2$. Parallel zum Tubus ist ein Leitrohr von 18 cm Öffnung angebracht, ein Sucher von 5 cm Öffnung vervollständigt den optischen Apparat.

Die Montierung entspricht im allgemeinen der des im Jahre 1908 von Prof. Ritchey erbauten Reflektors von 152 cm Öffnung auf dem Mt. Wilson-Observatorium (vgl. *diese Zeitschr.* **31.** *S. 89. 1911*). Bei dieser Montierung schneiden sich optische Achse, Stundenachse und Deklinationsachse in einem und demselben Punkt. Dem hierbei auftretenden Nachteil, daß die am oberen Ende der Stundenachse befindliche Gabel eine direkte Beobachtung der Polgegend behindert, wird durch einen 30,5 cm vom Hauptspiegel entfernt angebrachten Coudé-Spiegel begegnet. Die 762 kg schwere Achse besteht im oberen Teil aus Gußeisen, im unteren aus Schmiedestahl mit 57 mm

weiter Ausbohrung. Der gußeiserne Triebkreis trägt einen Bronzering, dessen aus Hartbronze hergestellter Rand 1440 Zähne bei einem Durchmesser von 179 cm enthält[1]). Die Schnellbewegung, 90° in 1 Minute, erfolgt durch einen Motor von 0,5 PS, der bei geklemmtem Kreis selbsttätig ausgeschaltet ist. Am oberen Achsenende befindet sich eine Scheibe von 102 cm Durchmesser, die einen gußeisernen Ring von 79 cm Durchmesser trägt; auf diesem ist der 114 cm Durchmesser haltende Stundenkreis befestigt. Er ist mit Silberteilung von halber zu halber Minute versehen und greift mit 1440 Zähnen in das vom Uhrwerk getriebene Schneckengewinde ein; durch einen Index läßt sich die Sternzeit und durch Ablesefernrohre die Rektaszension einstellen. Ein zweiter Stundenkreis für Handbetrieb ist am unteren Ende der Achse angebracht und läßt sich bei etwaigem Versagen des elektromotorischen Antriebs in entsprechender Weise benutzen. Das Uhrwerk ist unmittelbar auf den Pfeiler aufmontiert und wird durch einen Motor von $^1/_4$ PS selbsttätig bei einer Hubhöhe des Gewichtes von nur 6 mm aufgezogen. Auf der aus weichem Gußstahl hergestellten Gabel befinden sich die in Kugellagern endigenden Zapfenträger für den Tubus. An der einen Seite der Gabel ist der von 15′ zu 15′ geteilte Deklinationskreis befestigt, der genau wie der Stundenkreis sowohl vom Spiegel- als auch vom oberen Tubusende abgelesen werden kann. Die andere Seite der Gabel enthält den Antrieb für Schnellbewegung in Deklination, ebenfalls 90° in 1 Minute, der durch einen Motor von $^1/_{16}$ PS geleistet wird.



Der Spiegel ruht mittels 3 Kreisplatten von 10 cm Durchmesser auf den sphärischen Enden dreier Justierschrauben J und wird außerdem noch durch 3 Hebelsysteme mit je 3 Stützplatten gehalten, die, wie in nebenstehendem Schema angedeutet, so angeordnet sind, daß in den insgesamt 12 passend verteilten Punkten ein gleichmäßiger Druck auf die Grundfläche des Spiegels ausgeübt wird.

Die ebenfalls von Grubb gelieferte Kuppel wird durch 18 Stahlpfeiler von nahezu 5 m Höhe getragen; der Spalt hat im Horizont $3^1/_2$ m, im Zenit $1^2/_3$ m Öffnungsweite und ragt noch $1^1/_2$ m über das Zenit hinaus. *M.*

Zur qualitativen Untersuchung und Demonstration von Linsenfehlern.

Von H. Graf. *Physik. Zeitschr.* **25.** *S. 489. 1924.*

Vom Verf. wird eine Methode beschrieben, die es gestattet, sphärische und astigmatische Fehler von Linsen qualitativ zur Anschauung zu bringen. Zur Untersuchung der sphärischen Aberration wird eine Blende vor das zu prüfende Objektiv gesetzt, die eine große Anzahl von Löchern längs einer logarithmischen Spirale enthält. Als Lichtquelle dient ein weit entfernter künstlicher Stern. Durch die Lochblende werden nur Strahlen durch das Objektiv gelassen, die eine spiralig aufgerollte Fläche bilden. Bei sphärischer Aberration hat dieser spiralig gewundene Kegelmantel keine eindeutig definierte Spitze. Betrachtet man nun das Bild der Löcher in einer beliebigen achsensenkrechten Ebene innerhalb des Brennraums, so ist die Spirale derartig deformiert, daß der nach außen sich windende Zweig der Spirale plötzlich umbiegt und durch die Mitte der Spirale verläuft. An Stelle der Spirale können auch beliebige andere Kurven gewählt werden; so benutzt Verf. noch als Blendenkurve ein paralleles Geradenpaar. An der Deformation der Kurven läßt sich dann sehr anschaulich die Art der sphärischen Aberration erkennen. Im weiteren wird die Abschätzung der astigmatischen Fehler beschrieben. Als Blendenkurven werden hierzu konzentrische Kreise gewählt, deren Bilder bei vorhandenem Astigmatismus von der Kreisform abweichen. Die Erklärung der Bilder gelingt sehr einfach aus Überlegungen über den Strahlenverlauf im bildseitigen Raum. *Flügge.*

Apparat zur Bestimmung der Vergrößerung der Mikroskope.

Von E. Judin. *Physik. Zeitschr.* **25.** *S. 495. 1924.*

Der beschriebene Apparat besteht in einem teleskopischen System (Fernrohr), das auf das Okular des Mikroskops aufgesetzt werden kann. Die Vergrößerung des teleskopischen Systems ist

[1]) Ein Zahnkranz von so ungewöhnlich großer Abmessung ist in der Abbildung nicht erkennbar, indessen steht im Text *„pitch diameter of 70,55 inches"*.

gleich 1. Das aus dem Mikroskopokular austretende parallele Lichtbüschel wird in der gemeinsamen Brennebene von Objektiv und Okular des aufgesetzten Fernrohrs vereinigt. Hier ist ein Maßstab angebracht. Der Beobachter sieht also gleichzeitig die Bilder von Objektmikrometer und Maßstab. Die Art der Vergrößerungsmessung ist folgende: Das auf dem Mikroskoptisch befindliche nach $^1/_{100}$ mm geteilte Objektmikrometer wird zunächst nur mit dem Mikroskop scharf eingestellt. Dann wird das teleskopische System aufgesetzt, worauf das Objektmikrometer durch Mikroskop und Apparat betrachtet wird. Die beiden Skalen überdecken sich dann. Die Skala des Apparates hat acht Intervalle von 1 mm Breite. Wenn a mm des Objektmikrometers auf b mm der Apparatskala kommen, so beträgt die Vergrößerung

$$V = \frac{250\,b}{a\,f_1}.$$

f_1 ist die bekannte Brennweite des Mikroskopobjektivs gemessen in mm. Das Objektiv des teleskopischen Apparates muß ein genügend großes Gesichtsfeld haben, etwa 20 bis 25°. Außerdem ist auch eine genügend große Orthoskopie zu fordern. Die Genauigkeit des Apparates liegt zwischen 0,007 bis 0,7%. *Flügge.*

Demonstration einiger Photogramme zur Theorie der optischen Abbildung.

Von M. Berek. *Zeitschr. f. techn. Physik.* **5.** *S. 514. 1924.*

Vom Verf. ist schon wiederholt dargelegt worden, daß die Abbesche Unterscheidung von Selbstleuchtern und Nichtselbstleuchtern nicht mehr aufrecht zu erhalten ist. Das von Lauesche Äquivalenzprinzip ließ die Äquivalenz zwischen selbstleuchtenden und nichtselbstleuchtenden Objekten nur als durch die Beleuchtungsart wesentlich erscheinen. Verf. hat dieses Prinzip in der Richtung erweitert, daß die Art der Intensitätsverteilung in der Öffnungsblende des abbildenden Systems, wie sie nicht nur durch die Beleuchtungsart, sondern auch durch die Objektstruktur erzeugt wird, von Einfluß ist. Diese Erweiterung ist von Bedeutung für die Auflösbarkeit im Dunkelfeld. Die Siedentopfschen Untersuchungen haben zwar zu der Ansicht geführt, daß die Dunkelfeldbeobachtung bezüglich der Auflösung die Hellfeldbeobachtung nicht übertreffen kann; aber in Wirklichkeit ist das anders. Verf. kann dies demonstrieren an einigen Photogrammen, die eine deutliche Auflösung im Dunkelfelde zeigen, wo die Abbesche Theorie zu einer Nichtauflösung führt. Also ist es nicht mehr aufrecht zu erhalten, daß nach Abbe der mikroskopischen Abbildung von Nichtselbstleuchtern die Gitterabbildung zugrunde gelegt wird. *Flügge.*

Über die Zulässigkeit von Blasen in optischen Instrumenten.

Von Chr. von Hofe, *Central.-Ztg. f. Opt. u. Mech.* **46.** *S. 32. 1925.*

Blasen in optischen Gläsern haben den einzigen Nachteil, einen Lichtverlust zu bewirken, dessen Größe dem Querschnitt der Blasen proportional ist. Um ein Maß für diesen Lichtverlust zu haben, setzt Verf. die Fläche aller Blasen in Verhältnis zu der freien Durchtrittsöffnung der Lichtstrahlen in dem betreffenden Querschnitt des optischen Teils. Es werden also die Quadrate der Durchmesser sämtlicher Blasen addiert und durch das Quadrat des Durchmessers der mittleren Lichtdurchtrittsöffnung dividiert. Im Prinzip kommt diese Methode auf dasselbe hinaus, wie bei der Berechnung der Lichtstärke eines Fernrohrs aus der Größe der Austrittspupille. Bei dem Zählen der Blasen eines Prismen-Doppelfernrohrs sind nicht allein die Blasen selbst, sondern auch ihre Spiegelbilder zu berücksichtigen, jedenfalls soweit sie sichtbar sind. Um die Zulässigkeit von Blasen zu beurteilen, nimmt Verf. an, daß der durch alle Blasen hervorgerufene Lichtverlust 2‰ der freien Luftdurchtrittsfläche der Prismen betragen darf. Im Beispiel zweier Porro-Prismen mit einem freien Durchmesser von 18 mm würde dem eine resultierende Blase von 0,8 mm Durchmesser entsprechen. Das Aufsuchen und Ausmessen der Blasen geschieht mit einem Apparat, der von der Optischen Anstalt C. P. Goerz A.-G. konstruiert wurde. Die Blasen werden mit einem Meßfernrohr scharf eingestellt, wobei die Blase in ihrer natürlichen Größe auf einer nach zehntel Millimeter geteilten Strichplatte erscheint und ausgemessen werden kann. Durch Vor- und Rückwärtsverschieben, sowie durch Drehen des Fernrohrs um seine optische Achse kann jede Blase scharf eingestellt werden. Zum Schluß gibt Verf. noch an, wie große Blasen in einzelnen Fällen zulässig sind. Die Kollektivlinse

eines Fernrohrokulars muß absolut blasenfrei sein, da dieselbe der Bildebene sehr nahe liegt. Die Augenlinse darf einige Blasen am Rande besitzen, wenn deren Durchmesser nicht größer als 0,3 mm ist. Der mittlere Teil der Augenlinse muß blasenfrei sein. Das Objektiv des Fernrohrs darf auch einige Blasen von kleinem Durchmesser enthalten (nicht größer als 0,3 mm). *Flügge.*

Methode zur Messung des Durchlässigkeitsvermögens von reflektierend-ablenkenden Systemen.

Von J. Barot, *Revue d'Optique* **3**. *S. 459. 1924.*

Der Lichtverlust in total reflektierenden Prismen und dgl. kann so beträchtlich sein, daß es von Nutzen ist, sich hierüber Rechenschaft abzulegen. Für die Bestimmung des Durchlässigkeitsvermögens einer planparallelen Platte ist in der *Revue d'Optique* **1**. *S. 499. 1922* eine spektralphotometrische Methode angegeben. Die gleiche Methode wird auch in dem vorliegenden Fall benutzt, daß anstelle einer planparallelen Platte ein beliebig ablenkendes System untersucht wird. Vier total reflektierende Prismen derselben Beschaffenheit werden so zusammengestellt, daß das Licht beim Austritt keine Ablenkung gegen den einfallenden Strahl erleidet. Dieser Fall kann wie der einer planparallelen Platte behandelt werden. Die Verdunkelung durch ein einziges solches Prisma ist dann gleich dem vierten Teil der durch die ganze Kombination hervorgerufenen Verdunkelung. Verfügt man nur über ein ablenkendes System, so kann man seine Durchlässigkeit messen, indem man in der vorhin erwähnten Zusammenstellung ein Prisma durch das zu untersuchende System ersetzt. Man mißt die Verdunkelung, bildet die Differenz mit der Verdunkelung des Bezugsystems und kann auf einfache Weise daraus die Verdunkelung des zu untersuchenden Systems ableiten. Verfügt man über zwei oder drei gleichartige Systeme, so kann man der Genauigkeit halber auch noch zwei oder drei Prismen durch jene ersetzen. *Flügge.*

Abgeändertes Sphärometer.

Von H. S. Rocvell. *Journ. scientif. instrum.* **2**. *S. 17. 1924.*

Eine der üblichen Formen eines Sphärometers ist die mit 3 Beinen, die gleichförmig um den Kreisumfang verteilt sind, und mit einem verschiebbaren Kontakt im Mittelpunkt des Kreises Wie eine einfache Rechnung zeigt, kommt man auf eine etwa 3fache Meßgenauigkeit, wenn man zwei Außenstützen und den Stift im Mittelpunkt festlegt und die dritte Außenstütze meßbar verschiebbar macht. Die weiteren Vorschläge des Verfassers, z. B. die Verwendung einer sogegenannten Meßuhr, deren Abstimmung auf unmittelbare Angabe der Krümmung, und die Umforformung des Geräts zur Messung von Zylinderdurchmessern bieten nichts Neues. *Block.*

Eine neue Reise-Nivellierlatte und ein Taschen-Universal.

Von R. Reiss G. m. b. H. in Liebenwerda. *Nach einem Prospekte.*

Die Reise-Nivellierlatte (Fig. 1) besteht aus zwei oder drei 1 m langen ovalen Stahlrohren, welche zum Schutz gegen Rost mit einem dauerhaften Farbüberzug versehen sind, sie können fest und genau aufeinander passend zusammengesteckt werden. Das unterste Rohr ist mit einer Bodenplatte versehen. Auf den Stahlrohren sitzt eine verschiebbare Nivellierteilung, in $^1/_1$ und $^1/_2$ cm ausgeführt, deren Durchmesser links rot und rechts schwarz beziffert sind. Auf der Rückseite der Teilung ist eine Feder angebracht, die auf den Stahlrohren gleitet und die Teilung durch Einschnappen in Vertiefungen in der jeweils benötigten Höhe festhält. Eine Justiervorrichtung ermöglicht etwa erforderlich werdende Berichtigungen.

Die Stahlrohre sind mit einer $^1/_2$ m-Teilung versehen und abwechselnd schwarz und rot beziffert. Die Zwischenwerte werden auf der verschiebbaren Nivellierteilung abgelesen, und zwar bei Höhen von 0—0,50, 1—1,50 und 2—2,50 m von den roten Zahlen auf den Stahlrohren zu den auf der Nivellierteilung links und bei Höhen von 0,50—1, 1,50—2 und 2,50—3 m von den schwarzen Zahlen auf den Stahlrohren zu den schwarzen auf der Nivellierteilung rechts übergehend (wie dies aus der Figur ersichtlich ist).

Das Gewicht der 2 m langen Reise-Nivellierlatte beträgt etwa 1,8 kg, das einer 3 m langen etwa 2,1 kg, während eine gewöhnliche 3 m lange Klapplatte aus Holz etwa 5,5 kg wiegt.

Die Reise-Nivellierlatte wird mit äußerster Sorgfalt hergestellt und besitzt, wie alle unsere Nivellierlatten, eine große Genauigkeit. Sie dürfte sich infolge ihrer Handlichkeit und Preiswürdigkeit bald allgemein einführen. Jede Latte wird in einem Segeltuchfutteral geliefert.

Das nachfolgend beschriebene „Reiss-Taschen-Universal“ dient für Messungen in der Horizontalen und Vertikalen (s. Fig. 2).

Das Instrument ruht auf einem Kugelgelenk und hat einen Horizontalkreis von 6,4 cm Teilungsdurchmesser, welcher um 90° gekippt werden kann. Dadurch wird der Horizontalkreis auch als Höhenkreis verwendbar. Um die Vertikaleinstellung leichter zu ermöglichen, ist er am Rande geriffelt. Vermittels des Nonius kann 1′ abgelesen werden.

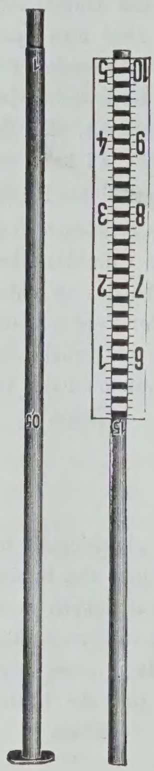


Fig. 1.
Neue Reise-Nivellierlatte.

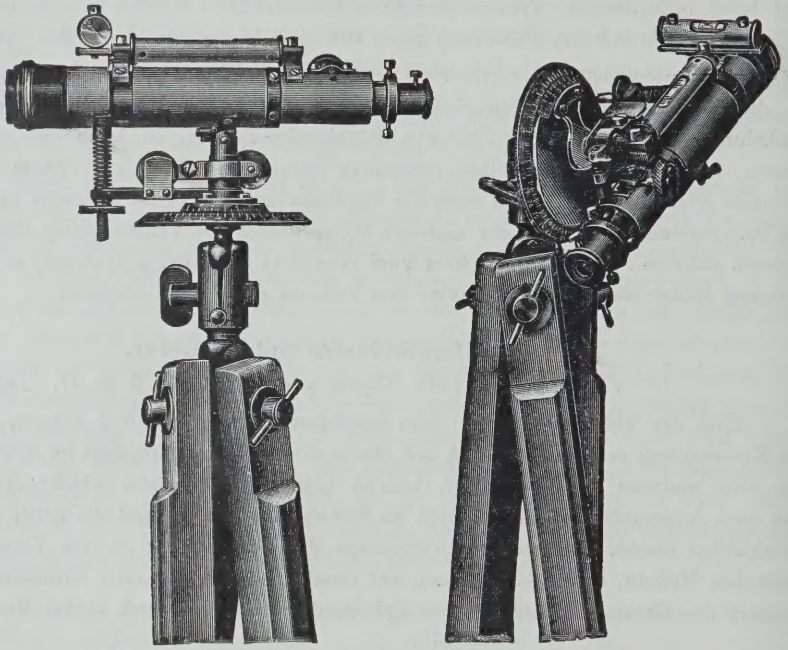


Fig. 2.
Reiss-Taschen-Universal.

Das Fernrohr hat 15-fache Vergrößerung und gestattet genaue Zentimeter-Ablesungen bei Entfernungen bis zu 100 Meter, bei gut sichtigem Wetter bis zu 150 Meter. Bei Höhenmessungen wird es um 90° um seine Zielachse gedreht. Durch eine auf ihm angebrachte Kreuzlibelle kann es richtig eingestellt werden.

Die Achse über dem Kreis besteht aus zwei Teilen, von denen der eine, der Konus, beim Zerlegen des Instrumentes im Oberteil durch eine Feder festgehalten wird. Diese Feder verhindert auch, daß das Instrument bei Höhenmessungen von der Achse gleitet. Beim Nichtgebrauch wird das Instrument auseinander genommen und in drei Teilen in einem mit Samt ausgelegten und mit Leder überzogenen Etui untergebracht, dessen Außenmaße etwa $20 \times 11 \times 7$ cm³ sind. Gewicht des Instrumentes etwa 0,620 kg, des Etuis etwa 0,300 kg und des Stativs etwa 1,570 kg.

Das „Reiss-Taschen-Universal“ besitzt eine für fast alle Messungen genügende Genauigkeit und eignet sich infolge seines geringen Umfanges und geringen Gewichtes besonders zum Mitnehmen auf Reisen.

Als Latte für dieses Instrument ist die vorher beschriebene und abgebildete neue Reise-Nivellierlatte zu empfehlen.

Bücherbesprechung.

Internationales Archiv für Photogrammetrie, hrsgeg. von E. Doležal. VI. Bd., Wien, Seidel und Sohn. 4⁰. VIII und 395 S., mit Taf. u. Abb. 1923.

Dem verdienstvollen Herausgeber des „Archivs" (zugleich Organ der Sektion Österreich der internat. Gesellsch. f. Photogrammetrie) ist es gelungen, aller Unbill der Zeit zum Trotz seinen VI. Band veröffentlichen zu können; man darf ihn dazu aus mehr als einem Grund beglückwünschen. Ist es doch vor allem in weitgehendem Maß sein Werk: unter 13 Autornamen des Namenverzeichnisses mit zusammen 62 Abhandlungen, Notizen, Referaten ist der Name Doležal 34mal vorhanden.

Der Berichter über ein Werk der vorliegenden Art ist in einiger Verlegenheit: soll er sich, angesichts der Fülle des Stoffs, mit allgemeinen Andeutungen begnügen, wesentlich nur ein Inhaltsverzeichnis liefern, da zum Eingehen auf alle Arbeiten hier doch kein Raum ist; oder soll er überhaupt nur einzelnes herausgreifen? Die Schwierigkeiten steigern sich angesichts der starken Divergenz der Ansichten über das Gebiet, dem das vorliegende Werk gewidmet ist: die einen sprechen von übertriebenen Hoffnungen und Erwartungen, die an die phototopographischen Messungen, sei es vom festen Erdboden oder von Luftfahrzeugen aus geknüpft werden; so z. B. C. Müller-Bonn (nicht im vorliegenden Werk, sondern im „Kalender für Landmessungswesen" 1925, I. Teil) „Neues aus dem Gebiet des Vermessungswesens" (S. 9), wo er diese Hoffnungen als meist von „Nicht-Ganzfachleuten" ausgehend bezeichnet (ich fürchte, die Ganzfachleute sind zum Teil noch sanguinischer) und als einen der Hauptunterschiede zwischen den alten terrestrischen und den neuen Aëro-Methoden noch hätte hinzufügen können, daß jene die Genauigkeit der Messung nach Bedarf beliebig steigern können, diese jedoch über eine gewisse, oft, aber keineswegs immer und überall genügende Genauigkeitsgrenze sicher nicht werden hinauskommen können. Daß die phototopographischen Methoden eine willkommene und sehr wesentliche Ergänzung unserer Topographie vorstellen, darüber ist so wenig ein Zweifel möglich, wie darüber, daß jene für kartographisch neue Länder schon jetzt vielfach die Hauptrolle spielen (während sie für altvermessene Gebiete nur für einzelne wenig zugängliche Teile, z. B. waldloses Hochgebirge, Steilküsten u. ä. in Betracht kommen). Daß sie sich, auch in Fällen erster topographischer Karten, so gut wie ganz unabhängig von grundlegenden terrestrischen Messungen überhaupt werden machen können, glaube ich nicht. Auch werden auf Aufnahmen aus der Luft gegründete topographische Messungen wohl kaum denselben Genauigkeitsgrad erreichen können, wie die Phototopographie, besonders die Stereophototopographie, von Punkten des festen Erdbodens aus. Daß dagegen wieder die Kammer im Flugzeug z. B. für Aufnahmen im Hochgebirge noch ganz andere Einblicke in scharf eingerissene Talwinkel oder Felszirkusse gewährt als auch best ausgewählte Stereostandpunkte, ist ohne weiteres klar. Welche Meinungsverschiedenheiten in der Flugzeug-Topographie noch herrschen, zeigen u. a. die Ansichten Berufener im vorliegenden Band: S. 90 bemerkt Hugershoff nebenbei, daß über den praktischen Wert von Senkrechtaufnahmen in den Kreisen von Laien und Theoretikern überschwängliche Anschauungen herrschen; S. 373 sagt Doležal, „der große Wert der Senkrechtaufnahmen im Vergleich mit den Schrägaufnahmen tritt in den Bildern 10 bis 17 außerordentlich klar hervor". Auch in der Phototopographie schickt sich eben nicht eines für alle Aufgaben. Der Ref. könnte sich z. B. nicht denken, wie die „mosaic maps" der Amerikaner, die sie mit so großem Erfolg für zahlreiche technische Zwecke verwenden, anders als auf Grund von Senkrechtaufnahmen hergestellt werden sollten. Welche Anschauungen über die Wirtschaftlichkeit der stereotopographischen und der lufttopographischen Messungen im Vergleich mit den „alten" Methoden stehen ferner einander noch gegenüber, besonders wegen des Mangels an genügend umfassenden und die verschiedenen in der Natur gebotenen Verhältnisse (Bodenformen, Bodenbedeckung, die von so großem, ja entscheidendem Einfluß auf die Aufnahmemethode ist!) berücksichtigenden, unparteiisch geprüften Versuchsmessungen! Kann man wirklich einfach allgemein sagen, die Aërophototopographie arbeite 15- bis 20mal billiger als die „alten" Methoden? Und was ist dann von der Bemerkung eines Aërotopographen zu sagen, nach der er mit den Preisen, die für Aufnahmen nach alten Methoden bezahlt werden, auch für die seinigen „gut auskommt"? (Vgl. zu diesen wirtschaftlichen Fragen auch

die dankenswerten Angaben von Mauck und von Domansky, S. 144ff. und S. 202ff. im vorliegenden Band.)

Doch nun zu einzelnen Arbeiten dieses bedeutenden Sammelwerks und zwar in der Reihenfolge, wie der Band sie bietet, und in der Auswahl, wie sie mir am wichtigsten erscheinen.

Die erste Abhandlung, von S. Finsterwalder, über die Kernpunkte, die gnomonische Projektion und die Reziprokalprojektion in der Photogrammetrie zeigt, daß die „Kernpunkte", deren praktische Bedeutung meist als ganz nebensächlich neben ihrer theoretischen angesehen wird, doch gelegentlich für Aufnahmen vom festen Erdboden aus eine große Rolle spielen können. Ein Aufsatz von O. v. Gruber in Jena beschreibt eine Zusatzeinrichtung zum Orel-Pulfrichschen Stereoautographen (erstes Modell 1911, zweites 1914), die das Instrument auch zur Ausarbeitung von Luftaufnahmen tauglich machen würde; es zeigt sich jedoch, daß nach Fertigstellung des Stereoplanigraphen die Ausführung sich nicht mehr verlohnt. Desselben Verf. Notiz zur Bestimmung der innern Orientierung einer Messungskammer zeigt wichtige Einzelheiten zur zweckmäßigen und scharfen Lösung dieser grundlegenden Aufgabe; ebenso der Aufsatz von Hugershoff über das Rückwärtseinschneiden im Raum, in dem angegeben wird, wie man mit Benutzung des Autokartographen die immer noch ziemlich umständliche Berechnung des Orts der Aufnahmekammer im Augenblick der Messung zum Teil oder ganz ersetzen kann durch abkürzende mechanische Verfahren. Mit derselben Aufgabe auf optisch-graphischem Weg und mit der „Entzerrung" von Luftaufnahmen beschäftigt sich auch eine Notiz von v. Gruber.

Gewiß werden besonderes Interesse weiterer topographischer und geographischer Kreise die vier größern Arbeiten von Doležal finden: „Das Phototachymeter Doležal-Rost"; „Aërophotographie und Aërophotogrammetrie im Weltkriege"; „Photogrammetrische Instrumente, Schöpfungen der letzten Jahre"; „Der gegenwärtige Stand der Photogrammetrie in den verschiedenen Staaten". Das Doležal-Rostsche Instrument nimmt Rücksicht darauf, daß häufig genug die phototopographischen Aufnahmen von festen Standpunkten aus ergänzt werden müssen durch die „alten" Methoden der Topographie, weil einzelnen Teilen des Geländes phototopographisch nicht beizukommen ist; verschiedene Ingenieure haben dem Ref. diese terrestrische Ergänzungstopographie der Aërotopographie, je nach Formen und Bedeckung der topogr. Fläche und der verlangten Genauigkeit der Aufnahme, zu $^1/_{10}$ bis $^1/_4$ der Fläche angegeben. Bei sehr stark bewaldetem Gebiet ist oft stereotopographisch (und selbst aus der Luft) sehr wenig auszurichten. Der dritte Aufsatz behandelt die photogrammetrischen Instrumente des Zeisswerks, der optischen Werkstätte von C. P. Goerz, die von Hugershoff-Heyde, die von Gasser, endlich die des Auslandes. Es ist überraschend, mit welcher Sorgfalt Doležal auch die Literatur des Auslands aus der letzten Zeit zusammenzubringen gewußt hat; nur wer dies für ein ähnliches Gebiet versucht hat, kann die hier auftretenden Schwierigkeiten würdigen. Der letzte Aufsatz von Doležal behandelt den Stand der Photogrammetrie in den verschiedenen Staaten etwa zu Ende 1922 in 17 Nummern und hier gilt fast noch mehr das soeben über die auswärtige Literatur Gesagte; das Literaturverzeichnis für Frankreich umfaßt (allerdings zum Teil bis 1917 zurückgehend) nicht weniger als 72 Titel, dabei 4 Arbeiten von Roussilhe, dem zur Zeit wohl eifrigsten Verfechter der Lufttopographie, der die Anwendung dieses Verfahrens auch auf Katastermessungen durchsetzte, wobei selbst für den Maßstab 1:1000 sehr gute Ergebnisse gewonnen worden sein sollen. Ja, ja, was sind „genaueste" Katasterkarten? Und was ist eine „exakte" topographische Karte? In Brasilien (das übrigens General Baron Hübl aus Wien bereits wieder verlassen hat, S. 340) spricht man wenigstens nur von „detaillierter" Vermessung, die in 15 bis 20 Jahren auf einen Landesteil von etwa 80000 km² soll ausgedehnt werden können (Nordost; was wird in den tropischen Urwäldern geschehen?).

Möge dem schönen Werk, von dem hier nur in Umrißlinien einiges angedeutet werden konnte, der verdiente Erfolg zuteil werden! *Hammer.*

Nachdruck verboten.

Verantwortlich für die Redaktion: Oberregierungsrat Dr. F. Göpel in Charlottenburg. — Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Kuratorium:

Prof. Dr. **R. Straubel**, Prof. Dr. **F. Weidert**, geschäftsführendes Mitglied.

Schriftleitung: Oberregierungsrat Prof. Dr. **F. Göpel** in Charlottenburg-Berlin.

XLV. Jahrgang. **Juli 1925.** Siebentes Heft.

Das neue Elektro-Mikrophotometer der Tübinger Sternwarte (Oesterberg).

Von

Prof. Dr. **H. Rosenberg** in Tübingen.

Um Helligkeitsverhältnisse von Gestirnen aus den Lichtwirkungen auf photographische Platten abzuleiten, wurde in der Astronomie bisher fast ausschließlich das Hartmannsche Mikrophotometer[1]) benutzt. In Verbindung mit einem Koordinaten-Meßtisch leistet dieses Instrument — nachdem einige Kinderkrankheiten überwunden worden sind — Vorzügliches; die Grenzen seiner Leistungsfähigkeit sind im wesentlichen bedingt durch die Leistungsfähigkeit unseres Auges, welches bei diesem Instrument die Gleichheit der zu messenden Schwärzung auf der Platte mit der Schwärzung eines photographischen Keiles unter Einschaltung eines Lummer-Brodhunschen Würfels zu beurteilen hat.

Unser Auge vermag im günstigsten Falle ein Helligkeitsverhältnis von $1^0/_0$ gerade noch zu unterscheiden; eine höhere Genauigkeit ist daher mit dem Hartmannschen Mikrophotometer unter keinen Umständen zu erzielen, übrigens auch kaum erforderlich, da die photometrische Genauigkeit, welche die photographische Platte bestenfalls zu liefern vermag, ebenfalls etwa bei dieser Grenze zu liegen scheint. Aber diese Grenzgenauigkeit ist wohl nur in den seltensten Fällen erreicht worden, da die fast stets vorhandenen Verschiedenheiten in der Körnung und Farbe von Platte und Keil einen äußerst störenden Faktor bilden, und da das Auge bei zahlreichen Wiederholungen der anstrengenden Messungen rasch ermüdet; die erreichbare Genauigkeit hängt übrigens auch von der zu messenden Schwärzung selbst ab, insofern sehr große oder sehr kleine Schwärzungen sich mit einer erheblich geringeren Sicherheit einstellen lassen als mittlere Schwärzungen, welche das Auge am angenehmsten empfindet. Der mittlere Fehler eines Intensitätsverhältnisses wird bei wiederholter Messung eines geübten Beobachters im Durchschnitt auf etwa $5^0/_0$ zu veranschlagen sein, eine Genauigkeit, welche die Leistung der Platte noch nicht voll ausschöpft, die aber mit den besten optisch-photometrischen Messungen an Gestirnen durchaus konkurrieren kann.

Eine prinzipielle Schwäche des Hartmannschen Instrumentes besteht darin, daß der zu messende Teil der Platte eine verhältnismäßig große Ausdehnung besitzen muß; denn der Photometerfleck darf eine bestimmte Größe nicht unterschreiten, wenn die Meßgenauigkeit nicht leiden soll, und die Anwendung stärkerer Mikroskopvergrößerungen ist wegen des dann störenden Plattenkornes meist nicht angängig. Bei der Messung punktförmiger Objekte, wie der Sterne, bedeutet dies die Notwendigkeit der

[1]) *Diese Zeitschr.* ***39.*** *S. 97. 1899.*

Ausbreitung des fokalen Sternbildes zu einer Scheibe entweder durch extrafokale Aufnahmen oder — nach dem Vorgange Schwarzschilds — durch die Schraffierkassette, beides Methoden, mit denen eine erhebliche Schwächung des Sternenlichtes verbunden ist, so daß die Leistungsfähigkeit eines Fernrohres bis zu den schwächsten ihm zugänglichen Sternen bei weitem nicht ausgenutzt werden kann. Eine weitere Begrenzung der Leistungsfähigkeit bei Anwendung dieser „Schwärzungsphotometrie" zur Helligkeitsbestimmung der Sterne liegt in der Eigenschaft der photographischen Platten begründet, nur ein verhältnismäßig kleines Helligkeitsintervall zu umfassen: zwischen dem Schwellenwert einer Platte (Glasklarheit) und den größten Schwärzungen liegt bei normaler Entwicklung ein Intensitätsbereich von etwa 4 bis 5 astronomischen Größenklassen (Intensitätsverhältnis 1 : 40 bis 1 : 100), so daß für die Überbrückung eines größeren Unterschiedes stets mehrere Aufnahmen erforderlich sind.

Die Messung der Intensität oder gar der Intensitätsverteilung in engen Spektrallinien, eine Aufgabe, der die Physik heute das größte Interesse entgegenbringt, ist aus den gleichen Gründen dem Hartmannschen Mikrophotometer nur in sehr unvollkommener Weise möglich.

Es zeigt sich daher in neuerer Zeit immer mehr das Bestreben, auch bei der photometrischen Auswertung photographischer Platten — wie überhaupt in der Photometrie — das Auge zu eliminieren und durch objektive Methoden zu ersetzen. Als Helligkeitsindikatoren kommen in erster Linie die alkalische Photozelle in der ihr von Elster und Geitel[1]) gegebenen Form und die Thermozelle in Frage; Selenzelle und Bolometer, obwohl zweifellos bei geeigneter Behandlung ebenso brauchbar, sind meines Wissens zur photometrischen Auswertung von Platten noch nicht angewandt worden. Die Photozelle wurde von Koch[2]) in bekannter Weise in seinem registrierenden Mikrophotometer benutzt, ferner in einer Versuchsanordnung von Kohlschütter[3]) bei der Untersuchung von Absorptionslinien in Sternspektren. Die Thermozelle verwendet Moll[4]) in seinem registrierenden Mikrophotometer, ferner Schilt[5]) in dem neuen Mikrophotometer der Leidener Sternwarte.

Die Registrier-Mikrophotometer sind, wie es in der Natur ihrer Konstruktion liegt, nur für Aufgaben brauchbar, bei denen es sich um die fortlaufende Messung von in einer geraden Linie angeordneten Objekten handelt, in erster Linie zur Durchmessung von Spektren oder auch als Schnittphotometer für ausgedehntere Objekte. Die Mehrzahl der astronomischen Aufgaben verlangt jedoch die Photometrierung einzelner, auf der Platte unregelmäßig verteilter Objekte; von den erwähnten Intrumenten erfüllen diese Forderung bisher nur die Kohlschüttersche und die Schiltsche Anordnung.

Alle erwähnten Instrumente arbeiten mit „Ausschlägen" entweder eines Elektrometers oder eines Galvanometers; die Messungsgenauigkeit ist also begrenzt durch den größten gerade noch meßbaren Ausschlag; und eine Steigerung der Empfindlichkeit des Meßinstrumentes ist stets verknüpft mit einer Verringerung des dem Instrument zugänglichen Helligkeitsbereiches. Man ist außerdem abhängig von der Konstanz des Nullpunktes und der Empfindlichkeit des Elektrometers bzw.

---

[1]) *Physikal. Zeitschr.* **12.** *S. 609—614. 1911.*

[2]) *Annal. d. Phys.* **39.** *S. 705—751. 1912*; und *diese Zeitschr.* **41.** *S. 313—324. 1921.*

[3]) *Astronom. Nachr.* **220.** *Nr. 5276. 1924.*

[4]) *Proc. Phys. Soc. of London. Vol. 33. Part. 4. 1921.*

[5]) *Bull. of the astronom. inst. of the Netherlands. Vol. I. Nr. 10. 1922*; und *Vol. II. Nr. 60. 1924.*

Galvanometers; bei der Verwendung von Photozellen ist die Ausschlagmethode überdies prinzipiell unrichtig und kann zu systematischen Fälschungen der Ergebnisse infolge von Ermüdungen und Erholungen Anlaß geben, wie an anderer Stelle[1]) ausführlich gezeigt worden ist.

Nachdem meine Untersuchungen über die Ermüdungserscheinungen an Photozellen[1]) zum Abschluß gelangt waren und die diesen Zellen bei richtiger Behandlung zukommende außerordentlich hohe Meßgenauigkeit gezeigt hatten, entwarf ich — unter Berücksichtigung in erster Linie astronomischer Bedürfnisse — den Plan zur Konstruktion eines photoelektrischen Mikrophotometers, das mit größtmöglichster photometrischer Genauigkeit bei der Auswertung photographischer Platten höchste Arbeitsökonomie verbinden und dem selbst die Messung kleinster fokaler Sternscheibchen auf der Platte (ca. 0,01 mm Durchmesser) noch zugänglich sein sollte. Verhandlungen über den Bau des neuen Elektro-Mikrophotometers wurden mit den Askania-Werken (Bambergwerk) in Berlin-Friedenau im Dezember 1921 angeknüpft, im Januar 1922 nach Fertigstellung des definitiven Planes der feste Auftrag erteilt und die Ablieferung des Instrumentes bis spätestens zum 1. Januar 1923 vereinbart. Durch die Ungunst der wirtschaftlichen Verhältnisse in Deutschland hat sich die Fertigstellung leider bis zum Beginn dieses Jahres herausgezogen; das neue Mikrophotometer hat aber nun alle Anforderungen und Erwartungen in so hohem Maße erfüllt und teilweise übertroffen, daß seine ausführliche Beschreibung angezeigt erscheint, da nicht nur der Astronom, sondern auch der Physiker das Instrument bei der Lösung wichtiger Probleme mit Vorteil benutzen wird.

Der leitende Grundgedanke bei der Konstruktion des Elektrophotometers bestand — wie auch in allen meinen früheren Arbeiten[2]) auf diesem Gebiet — darin, die Photozelle ausschießlich als Nullinstrument zu benutzen, und darüber hinaus auch das Elektrometer streng als Nullinstrument zu verwenden, da nur auf diesem Wege die geforderte hohe Genauigkeit zu erreichen ist, außerdem gewisse Beobachtungen schnell verlaufende Empfindlichkeitsänderungen der Saitenelektrometer vermuten lassen, die bei allen Ausschlagmethoden die Resultate systematisch verfälschen würden.

Der elektrischen Schaltung liegt das hier erprobte und an anderer Stelle[3]) beschriebene Schaltungsschema zugrunde mit der einzigen Abweichung, daß nach dem Vorgange Kochs als Ableitungswiderstand eine zweite Photozelle benutzt wird, die, von der gleichen Lichtquelle beleuchtet, wie die eigentliche Meßzelle, von etwaigen Helligkeitsschwankungen dieser Lampe frei machen soll. Für den konstruktiven Aufbau wurde eine enge Anlehnung an die musterhaft durchgebildete Konstruktion des Hartmannschen Mikrophotometers angestrebt, doch entschied ich mich an Stelle des photographischen Keiles für einen exakt geschliffenen optischen Neutralkeil als Helligkeitskompensator, der bei photoelektrischen Messungen erhebliche Vorteile bietet; während an die Güte des Schliffes und an die Homogenität des Dunkelglases sehr hohe Anforderungen gestellt werden müssen, spielt seine Färbung nur eine untergeordnete Rolle.

Strahlengang und Schaltung des ganzen Instrumentes sind aus der schematischen Fig. 1 ersichtlich. (*S. 316.*)

---

1) *Zeitschr. f. Phys.* **7.** *Heft 1. 1921.*

2) *Viertelfahrsschr. d. Astr. Gesellschaft.* **48.** *Heft 3. 1913. Die Naturwissenschaften. Heft 19 u. 26. Zeitschr. f. Physik.* **7.** *Heft 1. 1921.*

3) *Zeitschr. f. Physik, l. c. S. 22.*

Das Licht der Lampe L, einer Auto-Scheinwerferlampe von 12 Volt/20 Watt wird durch den Kondensator O_1 auf eine Blende Bl, deren Form und Dimension je nach der Natur der zu lösenden Aufgabe zu wählen ist, so abgebildet, daß die ganze Blendenöffnung gleichmäßig von Licht erfüllt ist. Von dieser Blende entwirft das Mikroskopobjektiv O_2 ein scharfes, stark verkleinertes Bild in der Schichtebene der photographischen Platte Pl; durch Bewegung des Reflexionsprismas P läßt sich der Ort des Bildes auf der Platte zu Zentrierungszwecken verschieben. Durch Verwendung von Mikroskopobjektiven verschiedener Brennweite ist eine weitere Variationsmöglichkeit in der Größe des Lichtfleckes auf der Platte gegeben.

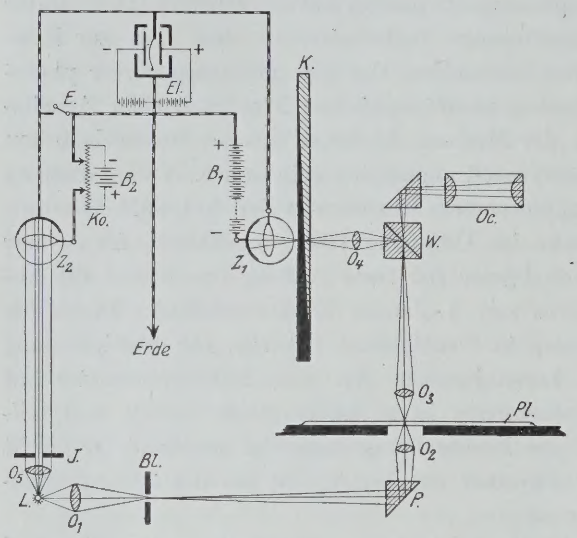


Fig. 1. Schema des Strahlenganges und der Schaltung.

Dieser Lichtfleck, dessen Intensität mit der Schwärzung der Platte variiert, wird durch das Mikroskopobjektiv O_3 auf den Spiegel des Lummer-Brodhun-Würfels W scharf abgebildet, und dieser wiederum durch das Objektiv O_4 auf den Meßkeil K, nach dessen Durchsetzung das Licht auf die als schwarzer Körper ausgebildete Meßzelle Z_1 fällt.

Zur Beobachtung der Platte bzw. zur Einstellung des gesuchten Objektes auf den Spiegel des Lummer-Brodhun-Würfels, der aus später zu erörternden Gründen nicht völlig undurchsichtig versilbert ist, sondern etwa 5‰ des auffallenden Lichtes hindurchläßt, dient das Okular Oc, welches gleichzeitig die Fokussierung und Zentrierung der drei Objektive O_1, O_2 und O_3 sowie des Reflexionsprismas P kontrolliert.

Im zweiten Strahlengang wird das Licht der Lampe L durch das Objektiv O_5 parallel gemacht und gelangt nach dem Durchtritt durch die Irisblende J und eine (in der Zeichnung nicht angegebene) direkt darüber befindliche Revolverblende, deren Öffnungen mit Absorptionsgläsern verschiedener Dichte verschlossen werden können, auf die Kompensationszelle Z_2.

Ein dritter Strahlengang nutzt das Licht der Lampe L zur Beleuchtung des Elektrometers aus.

Die elektrische Schaltung ist, wie bereits erwähnt, mit dem früher beschriebenen Schaltungschema für direkte photoelektrische Messungen im Prinzip identisch. Das auf die Meßzelle Z_1 fallende Licht löst in dieser einen Photostrom aus, der über die Kompensationszelle Z_2 abgeleitet wird; der an ihr auftretende Spannungsabfall wird mit dem Elektrometer El gemessen. Durch Veränderung der Öffnung der Irisblende sowie durch Verwendung verschiedener Absorptionsgläser in der Revolverblende läßt sich der Widerstand der Kompensationszelle und damit die Größe des Elektrometerausschlages in weiten Grenzen verändern. Als Elektrometer hat sich das neue Modell des Lutz-Edelmannschen Saitenelektrometers[1]) mit gespanntem Faden gut bewährt,

[1]) *Physikal. Zeitschr.* **24.** *S. 166. 1923.*

welches mit Leichtigkeit eine Empfindlichkeit von 100 Skalenteilen (und mehr) pro Volt erreichen läßt.

Für eine bestimmte mittlere Intensität wird der Elektrometerausschlag mit dem Kompensationsapparat *Ko*[1]) kompensiert; die erreichte Kompensation läßt sich durch

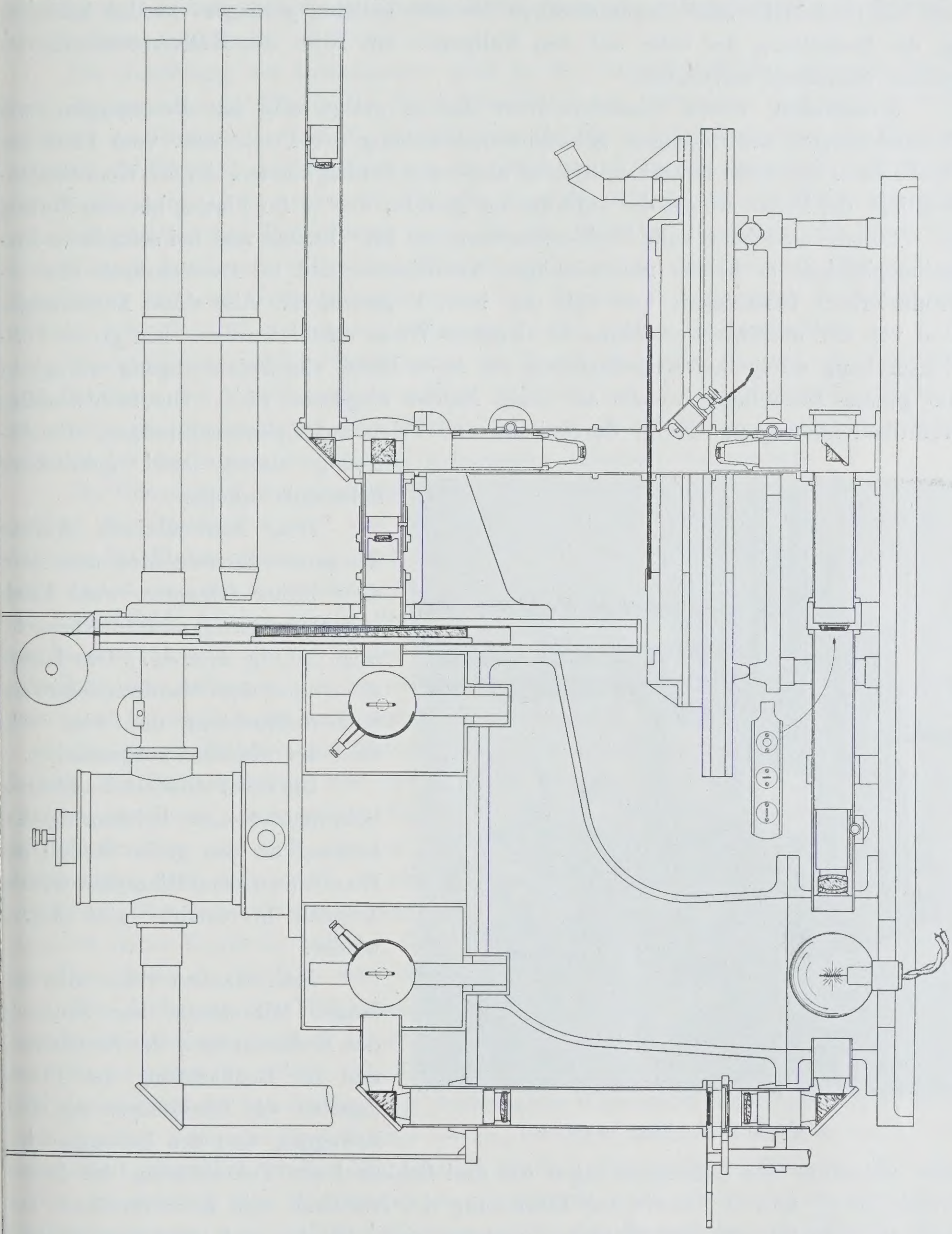


Fig. 2. Elektro-Mikrophotometer. Konstruktiver Aufbau.

abwechselndes Schließen und Öffnen des Erdschlüssels *E* mit Sicherheit beurteilen; die durch verschiedene Schwärzungen der Platte erzeugten Helligkeitsänderungen werden

[1]) Handelt es sich nicht um exakte Messungen der Kompensationsspannung, so läßt sich der Kompensationsapparat durch einen hochohmigen Ruhstrat-Schiebewiderstand und Millivoltmeter ersetzen.

jetzt mit Hilfe der Keilverschiebung ausgeglichen, bis das Elektrometer wieder auf Null steht. Die eigentliche Helligkeitsmessung erfolgt also mit dem Meßkeil. Da die Elektrometersaite, je nachdem die zu messende Intensität größer oder geringer ist, als die ursprünglich kompensierte, nach rechts oder nach links wandert und die photoelektrische Empfindlichkeit beinahe beliebig gesteigert werden kann, so ist die Einstellung der Saite auf den Nullpunkt mit Hilfe der Keilverschiebung mit größter Sicherheit ausführbar.

Konstruktiv wurde besonders Wert darauf gelegt, daß alle Bewegungen, wie Fokussierungen, Zentrierungen, Koordinateneinstellung der Platte usw. vom Platz des Beobachters aus leicht bewerkstelligt und abgelesen werden können. An den Koordinatenmeßtisch der Platte wurde die Anforderung gestellt, daß er für Platten bis zum Format 20×20 cm^2 ausreiche, volle Positionsdrehung um 360^0 besitze und bei schnellster Einstellmöglichkeit in beiden rechtwinkligen Koordinaten und im Positionskreis eine reproduzierbare Genauigkeit von 0,01 mm bzw. 1′ garantiere. Alle diese Forderungen sind von der ausführenden Firma in eleganter Weise erfüllt worden. Die grobe Positionsdrehung erfolgt auf Kugellagerung aus freier Hand, eine Feinbewegung ermöglicht die genaue Einstellung, welche an einem Nonius abgelesen wird. Die rechtwinklige Koordinatenbewegung erfolgt durch Zahn und Trieb auf Zylinderführungen, die Ablesung durch zwei gebrochene Schätzmikroskope.

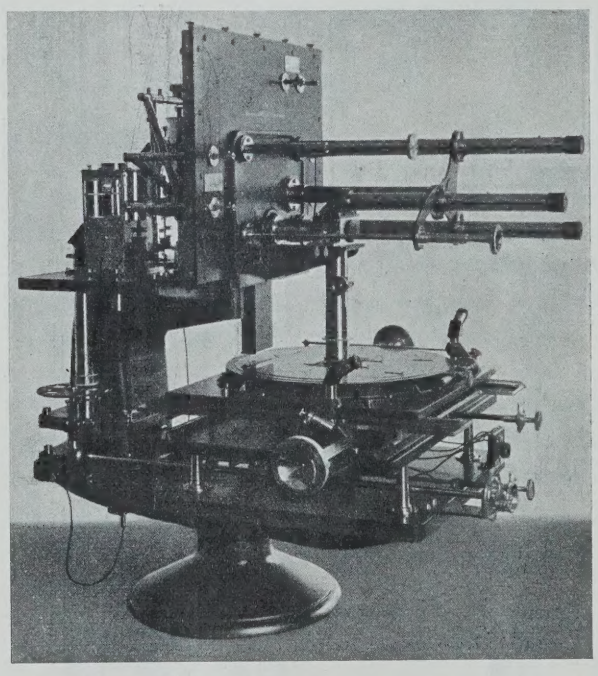


Fig. 3. Elektro-Mikrophotometer.

Den konstruktiven Aufbau des ganzen Instrumentes, dem nach dem bisher Gesagten wohl kaum etwas hinzugefügt zu werden braucht, zeigt die Fig. 2 (*S. 317*). Das Lämpchen unter dem Meßtisch liefert die Sucherbeleuchtung und wird während der Messung ausgeschaltet.

Die äußere Gestalt des Elektro-Mikrophotometers, bei dem die Anlehnung an das große Modell des Hartmannschen Mikrophotometers deutlich hervortritt, gibt Fig. 3 wieder.

Man erkennt vorne die drei langen Mikroskope zur Ablesung des Elektrometers, der Keilstellung und zur Beobachtung der Platte, daneben die Triebknöpfe der Keilbewegung und des Erdungsschlüssels; unterhalb des Meßtisches ragen die drei Schlüssel zur Fokussierung der beiden Objektive O_1 und O_2, sowie zur Einstellung der Irisblende und Revolverblende hervor, die natürlich alle mit Teilungen versehen sind. Rechts und links vom Meßtisch sieht man die beiden großen Triebknöpfe, welche die Koordinatenverschiebungen des Meßtisches besorgen, die an den kleinen gebrochenen Schätzmikroskopen abgelesen werden.

Die Photozellen, das Elektrometer sowie der ganze elektrische Schaltapparat — mit Ausnahme der Batterien und des Kompensationsapparates — befinden sich auf

einer Plattform am hinteren Teile des Instrumentes, von der auf der Photographie nur ein Teil sichtbar ist, und werden bei Gebrauch durch einen staubdichten Metallkasten abgedeckt; an der vorderen Abschlußplatte ragen nur die Anschlußklemmen zu den Elektrometerschneiden und für die Feldspannung der Photozellen hervor. Alle Leitungen sind durch Bernstein isoliert und gegen äußere Störungen durch Führung in geerdeten Metallrohren geschützt.

Die Justierung des Instrumentes geht in der folgenden Weise vor sich: Nachdem die zu messende Platte in den Plattenhalter des Meßtisches eingelegt ist, wird zunächst das Objektiv O_3 auf die Schichtebene der Platte fokussiert, dann das Blendenbild auf die Platte durch Verschiebung des Objektivs O_2 scharf eingestellt und endlich der Kondensator O_1 so eingestellt, daß das Bild der Blende auf der Platte eine vollkommen gleichmäßige Beleuchtung zeigt. Ist das Bild der Blende auf der Platte mit dem Spiegel des Lummer-Brodhun-Würfels nicht genau zentriert, so läßt sich die Zentrierung mit den Korrektionsschrauben des Prismas P in wenigen Sekunden ausführen. Alle diese Einstellungen werden durch das Okular Oc kontrolliert.

Nachdem eine mittlere Schwärzung der Platte eingestellt ist, und der Keil etwa auf der Mitte des Verschiebungsbereiches sich befindet, wird bei geerdeter Elektrometersaite die Spannung an die Photozellen und die Elektrometerschneiden gelegt und der bei Aufhebung der Erdung auftretende Ausschlag kompensiert.

Die Genauigkeit der photometrischen Messungen hängt ab: 1. von der Empfindlichkeit der Photozellen bzw. von der Größe der Feldspannung, 2. von der Empfindlichkeit des Elektrometers, 3. von der Größe des Widerstandes der Kompensationszelle und 4. von der Lichtstärke, die auf die Zelle Z_1 gelangt.

Das Feld, welches an die Zelle gelegt wird, darf sich dem Entladungspotential nur so weit nähern, bis die in der Nähe des Entladungspotentials auftretenden Stoßschwankungen anfangen, sich bemerkbar zu machen; eine weitere Steigerung bedeutet zwar noch einen Zuwachs an Empfindlichkeit der Zelle, nicht aber an Meßgenauigkeit.

Die Empfindlichkeit des Elektrometers läßt sich durch die Größe der Schneidenladung, die Saitenspannung und den Abstand der Schneiden von der Saite in weiten Grenzen variieren. Bei meinen Versuchen hat sich eine Empfindlichkeit von etwa 100 Skalenteilen pro Volt als am günstigsten herausgestellt, da hier die Lage des Nullpunktes noch sehr stabil ist und die Bewegungen der Saite noch fast momentan erfolgen. Die Empfindlichkeit läßt sich mit Hilfe des Kompensationsapparates *Ko* dauernd unter Kontrolle halten. Die Schneiden müssen so eingestellt sein, daß bei geerdeter Saite die Nullage ohne und mit Schneidenladung die gleiche ist.

Die Änderung des Widerstandes der Kompensationszelle läßt sich durch Irisblende und Absorptionsgläser in weiten Grenzen variieren. Je kleiner der Widerstand ist, um so prompter erfolgt die Einstellung, um so unempfindlicher wird aber auch die photoelektrische Anordnung. Mit wachsendem Widerstand nimmt die Empfindlichkeit — aber auch die Einstelldauer — zu, bis diese letztere schließlich bei völliger Dunkelheit (unendlich großem Widerstand) in die Auflademethode übergeht. Man wird daher zweckmäßig den Widerstand zwar möglichst groß wählen, doch so, daß die Elektrometersaite nach erfolgter Kompensation den Bewegungen des Keiles gerade noch ohne merkliche Trägheit folgt.

Die Intensität des auf die Meßzelle fallenden Lichtes ist gegeben durch die Helligkeit der Lampe, die Größe des Blendenbildes, durch die Schwärzung der Platte und die Keilabsorption. Da die Größe der Blende meist durch die zu lösende Aufgabe bedingt ist und die übrigen Größen für ein gegebenes Instrument ein für alle

Mal festliegen, ist hier nur eine geringe Variationsmöglichkeit vorhanden. Die Keilkonstante soll so bemessen sein, daß die kleinste ablesbare Keilverschiebung die photometrische Grenzgenauigkeit der Platte noch etwas übersteigt, die Länge des Keiles ist durch die Bedingung gegeben, daß der Helligkeitsunterschied zwischen den beiden Keilenden das ganze zu messende Schwärzungsintervall der Platte gut überdeckt. Bei dem hier benutzten Keil sollte auftragsgemäß die Keilkonstante ca. 5% pro 1 mm, die nutzbare Länge etwa 150 mm betragen.

Die Variationsmöglichkeiten der Empfindlichkeit sind im ganzen derartig groß, daß man die photoelektrische Meßgenauigkeit in fast allen Fällen um mehrere Größenordnungen über die von der Platte gelieferte Genauigkeit steigern kann. In praxi wird man das natürlich nicht tun. Da 0,1 mm der Keilverschiebung noch am einfachen Nonius abgelesen werden können, so ist mit dem Keil 0,5% mit Sicherheit zu erreichen, d. h. eine Genauigkeit, welche bereits die der zu erwartenden Resultate übersteigt. Macht man die photoelektrische Empfindlichkeit so groß, daß 1 mm Keilverschiebung einen Anschlag der Elektrometersaite von etwa 10 Skalenteilen hervorruft, dann können zufällige Einstellungsfehler in einer das Resultat beeinflussenden Größe überhaupt nicht mehr vorkommen, und jede Wiederholung der gleichen Messung zur Steigerung der Genauigkeit wird sinnlos, da sie doch stets auf das gleiche Zehntel Millimeter der Keilstellung führt. Nur zur Erkennung von systematischen Fehlerquellen wird man im Verlauf einer Messungsreihe eine bestimmte Messung von Zeit zu Zeit wiederholen.

Da die eigentliche Messung durch den Keil erfolgt, das Elektrometer streng als Nullinstrument dient und die Nullstellung der Saite jeden Augenblick durch Schließen des Erdungsschlüssels bestimmt werden kann, so ist die Messung völlig frei von etwaigen Nullpunktverschiebungen und Empfindlichkeitsänderungen des Elektrometers.

Da auch die Zelle während einer Messungsreihe nur als Helligkeitsindikator einer gegebenen Intensität verwandt wird, so hat die Art der Abhängigkeit des Photostromes von der Lichtstärke (Proportionalität?) keinen Einfluß auf das Resultat, so lange man annehmen darf, daß unter den gleichen Umständen eine bestimmte Intensität stets den gleichen Photostrom erzeugt, mit anderen Worten: so lange die Zelle ihre Empfindlichkeit nicht ändert und die Lampe konstantes Licht liefert.

Daß diese Annahmen nicht unter allen Umständen zutreffen, ist in der Arbeit über die Ermüdungserscheinungen an Photozellen gezeigt worden. Offen bleibt die Frage, ob diese Ermüdungen und Erholungen sich auch bei Verwendung der Kompensationszelle als Ableitungswiderstand bemerkbar machen, wie groß ihr Einfluß auf das Resultat werden kann und wie nötigenfalls diese Fehlerquelle zu vermeiden ist. Da Ermüdungen und Erholungen der Kompensationszelle gleichzeitig ihren Widerstand vergrößern bzw. verkleinern und so dem Effekt von Ermüdungen und Erholungen der Meßzelle auf das Elektrometer entgegenwirken, so ist a priori ein geringerer Einfluß dieser Störungen zu erwarten, als bei Verwendung nur einer Zelle. Da beide Zellen unter gänzlich verschiedenen Bedingungen arbeiten — die Meßzelle an einem sehr hohen Feld, die Kompensationszelle an einem Feld von höchstens einigen Volt bzw. nach erfolgter Kompensation ohne Feld —, so darf man erwarten, daß der Einfluß der Ermüdungen und Erholungen nicht völlig kompensiert wird.

Diese Voraussetzungen sind durch die experimentellen Untersuchungen durchaus bestätigt worden.

Nachdem beide Zellen mindestens 24 Stunden in völliger Dunkelheit gehalten

worden waren, wurden sie unter ähnlichen Bedingungen, wie bei den normalen Messungen, aber mit etwas verschiedenen Intensitäten, beleuchtet. In allen Fällen zeigt sich stets zuerst eine schnelle Abnahme der Empfindlichkeit, die sich allmählich einem konstanten Endwert nähert, also den typischen Verlauf der Ermüdungskurven aufweist. Nimmt man die Empfindlichkeit nach Erreichung des konstanten Zustandes als Nullpunkt, so zeigen in Tab. I die bei drei verschiedenen Intensitäten aufgenommenen Reihen den Verlauf der Ermüdung. Die Empfindlichkeitsänderungen sind ausgedrückt in Prozenten der scheinbaren Helligkeitsänderung, Empfindlichkeitssteigerungen durch das positive Vorzeichen gekennzeichnet; die Zeiten sind vom Moment der ersten Beleuchtung an gerechnet. Während der einzelnen Reihe blieb die Intensität konstant.

Tabelle I.

t			I größte Intensität	II mittl. Intensität	III kleinste Intensität
h	m	s	%	%	%
		0	—	—	—
		10	—	—	+ 22,8
		20	—	+ 30,6	—
		35	—	—	+ 10,8
		40	—	+ 14,4	—
	1	0	+ 16,2	+ 10,8	+ 6,6
	2	0	+ 6,7	+ 5,4	+ 2,4
	3	0	+ 3,9	+ 3,6	+ 1,2
	4	0	+ 2,5	+ 2,4	+ 0,6
	5	0	+ 1,7	+ 1,8	+ 0,6
	6	0	+ 1,5	+ 1,8	—
	7	0	+ 1,2	+ 1,6	—
	8	0	—	+ 1,2	—
	9	0	—	+ 1,2	—
	10	0	—	+ 1,2	0,0
	15	0	—	0,6	0,0
	30	0	+ 0,1	0,0	0,0
1	0	0	0,0	0,0	0,0
2	0	0	0,0	0,0	0,0

Aus diesen Zahlen folgt, daß man die Beleuchtung mindestens eine Viertelstunde vor Beginn der Messungen einschalten und die gewünschte Helligkeit einregulieren muß, wenn nicht die Ergebnisse durch das noch nicht erreichte Gleichgewicht der Zellen verfälscht sein sollen.

Viel wichtiger als diese erste Ermüdung, deren Einwirkung auf das Resultat sich durch die angegebene Vorsichtsmaßregel leicht vermeiden läßt, ist der Einfluß partieller Ermüdungen und Erholungen auf die Messungen, wie sie beim Übergang von großen zu kleinen Schwärzungen — oder umgekehrt — eintreten können, da stets eine gewisse Zeit vergehen wird, bis die Helligkeitskompensation mit Hilfe des Keiles erreicht ist. Diesen Einfluß zeigen die folgenden Reihen (Tabelle II), die angestellt wurden, nachdem Gleichgewicht in den Zellen eingetreten war. Den Nullpunkt bildet wieder die Normalempfindlichkeit; Empfindlichkeitsänderungen sind in scheinbaren prozentualen Helligkeitsänderungen ausgedrückt, indem das positive Vorzeichen eine Empfindlichkeitssteigerung, das negative eine Empfindlichkeitsminderung ausdrückt. Der Reihe nach wurde die Meßzelle nach erreichter Konstanz je 1 Min. bzw. 10 Sek. verdunkelt oder mit einer um 3,08 Größenklassen (= dem 17,06fachen)

größeren Intensität je 1 Min. bzw. 10 Sek. und einer um 1,95 Größenklassen (= dem 6,3fachen) größeren Intensität 1 Min. lang ermüdet und dann die alte Helligkeit wieder hergestellt. Die Zeiten sind von dem Augenblick der Wiederherstellung an gerechnet.

Tabelle II.

t		Verdunkelt		+ 3,08 Größenkl.		+ 1,95 Größenkl.
		1 Min. lang	10 Sek. lang	1 Min. lang	10 Sek. lang	1 Min. lang
m	s	%	%	%	%	%
	0	+ 7,8	+ 1,7	— 4,2	— 2,9	— 3,1
	10	+ 5,6	+ 1,2	— 3,9	— 2,5	— 2,8
	20	+ 2,4	+ 0,6	— 3,5	— 2,2	— 2,6
	30	+ 2,1	+ 0,4	— 3,0	— 1,7	— 1,7
	40	+ 1,4	+ 0,2	— 2,7	— 1,4	— 1,4
	50	+ 1,0	+ 0,1	— 2,3	— 1,1	— 1,1
1	0	+ 0,6	± 0,0	— 2,1	— 1,0	— 1,0
1	30	+ 0,3	± 0,0	— 1,5	— 0,6	— 0,6
2	0	+ 0,2	± 0,0	— 1,0	— 0,4	— 0,3
3	0	+ 0,1	± 0,0	— 0,6	— 0,2	— 0,1
4	0	± 0,0	± 0,0	— 0,2	± 0,0	± 0,0
5	0	± 0,0	± 0,0	± 0,0	± 0,0	± 0,0

Aus diesen Messungen geht hervor, daß man nach jeder stärkeren Schwärzungsänderung auf der Platte stets eine Zeit lang bis zu mehreren Minuten — je nachdem, wie lange die veränderte Intensität auf die Platte gewirkt hat — warten muß, bis die alte Empfindlichkeit wieder erreicht ist; bei zu kurzen Schonzeiten können die Messungsergebnisse — besonders bei schroffen Übergängen, wie sie auf Spektralaufnahmen häufig vorkommen — bis zu mehreren Prozenten verfälscht werden.

Bei Instrumenten mit fortlaufender Registrierung können die partiellen Ermüdungs- und Erholungsvorgänge unter Umständen erhebliche Fehler verursachen[1]). Diese Fehlerquelle ließe sich auch bei Registrierinstrumenten ausschalten, wenn das Uhrwerk die Triebschraube ruckweise fortbewegte und in jeder Stellung eine entsprechend lange Rast einlegte.

Der Ermüdungseinfluß der Kompensationszelle wurde gesondert untersucht. Nachdem konstante Empfindlichkeit der ganzen Anordnung eingetreten war, wurde nur die Kompensationszelle eine Zeit lang verdunkelt, dann die alte Beleuchtung wieder hergestellt und die Messungen in der gleichen Weise vorgenommen, wie bisher. Eine Erholung der Kompensationszelle muß sich dabei im selben Sinne äußern, wie eine Ermüdung der Meßzelle, also das negative Vorzeichen aufweisen. Die beiden folgenden Reihen (Tab. III, *S. 323*) zeigen diesen Effekt nach einer Verdunkelung der Kompensationszelle von 60 Min. bzw. 5 Min. Dauer.

Die Kompensationszelle zeigt ebenfalls Ermüdungs- und Erholungserscheinungen, aber wegen des kleinen Feldes — weit unterhalb der Stoßerregung — in erheblich geringerem Maße als die Meßzelle. Der Einfluß auf die Messungen ist praktisch völlig zu vernachlässigen; der ganze Ermüdungsvorgang, der auch in der Kochschen Anordnung eine nicht zu vernachlässigende Fehlerquelle darstellt, vollzieht sich fast ausschließlich in der an einem starken Feld liegenden Meßzelle.

[1]) Die Beobachtungen von Herrn Goos (*diese Zeitschr.* ***41.*** *S. 320. 1921*) über die zeitliche Inkonstanz des registrierenden Mikrophotometers ist unseres Erachtens eine einfache Ermüdungserscheinung.

Tabelle III.

t		Verdunkelung 60 Min. lang	Verdunkelung 5 Min. lang
m	s	%	%
	0	— 1,4	— 0,8
	10	—	— 0,5
	20	— 0,6	— 0,3
	30	—	— 0,2
	40	—	— 0,1
	50	0,0	— 0,1
1	0	0,0	0,0
2	0	0,0	0,0

Zeigt die Kompensationszelle in bezug auf die Ermüdungserscheinungen also keine nennenswerte ausgleichende Wirkung, so ist andererseits ihr kompensierender Einfluß bei Helligkeitsschwankungen der Lampe — der ursprüngliche Zweck, dessenwegen Koch die Kompensationszelle einführte — ausgezeichnet. Die 12 V/20 W-Lampe, welche normal mit einer kleinen Unterspannung (11,50 V) gebrannt wird, um ihre Lebensdauer zu erhöhen, wurde der Reihe nach an erheblich niedere Spannungen gelegt, wobei — trotz sehr starker Intensitätsänderungen — die Empfindlichkeit der ganzen Anordnung sehr nahe konstant blieb, wie die kleine Reihe Tab. IV zeigt. Als Nullpunkt wurde die Normalspannung von 11,50 V gewählt, die Empfindlichkeitsänderung wieder in Prozenten der scheinbaren Helligkeitsänderung ausgedrückt.

Tabelle IV.

Lampenspannung V	Helligkeitsänderung %
12,00	+ 0,5
11,50	0,0
11,00	— 0,6
10,50	— 1,5
10,00	— 3,0

Bei Schwankungen der Lampenspannung von $\pm 0,50$ Volt ist also der Einfluß der Helligkeitsschwankungen der Lampe auf die Messungen praktisch noch vollständig zu vernachlässigen.

Als nächste Aufgabe wurden die für die Reduktion der Messungen wichtigen Instrumentalkonstanten — Keilabsorption und Blendenwerte — bestimmt.

Zur Messung der Keilabsorption wurde zwischen das Mikroskopobjektiv O_3 und den Lummer-Brodhun-Würfel ein Nikolsystem eingeschaltet, dessen Azimute an einem Teilkreis mit einer Genauigkeit von $0,1^0$ abgelesen werden können, dann sukzessive der Keil um konstante lineare Beträge verschoben und jedesmal die Helligkeitskompensation mit Hilfe der Nikols in allen 4 Quadranten hergestellt. Da jedoch das Nikolsystem nur ein Helligkeitsintervall von etwa 3 Größenklassen mit der erforderlichen Genauigkeit zu messen gestattet, der nutzbare Teil des Keiles jedoch mehr als 8 Größenklassen überbrückt, so wurde die ganze Strecke in drei gleichgroße Stücke (von 0—40, 40—80, 80—120 mm) unterteilt und zur Gewinnung des Anschlusses an den Grenzstellen zwei übergreifende Reihen (von 20—60 und 60—100 mm) eingeschoben. Um alle Reihen bei der gleichen Empfindlichkeit der Apparatur messen zu können, befand sich auf dem Meßtisch eine Platte mit photographischem Keil, mit dem der Übergang

von einer Messungsreihe auf die nächste bewirkt wurde; während der einzelnen Messungsreihe wurde die Stellung der Platte natürlich nicht geändert.

So wurde der ganze Meßkeil von 2 zu 2 mm durchkalibriert; der mittlere Fehler einer einzigen Messung (Mittel der 4 Einstellungen in jedem Quadranten) beträgt ± 0,0017 Größenklassen.

Die Messungen haben ergeben, daß die Absorptionszunahme des Keiles sich nicht über die ganze Keillänge streng durch eine Konstante darstellen läßt, daß sich aber bereits die ersten Differenzen dieser Werte konstant halten. Die Änderung der Keilkonstante (Absorptionszunahme für 1 mm Verschiebung) beträgt auf die ganze Länge des Keiles nur etwa 0,01 Größenklassen; wahrscheinlich ist der Schliff des Keiles in seiner Längsrichtung nicht vollständig eben, sondern hat die Gestalt einer Zylinderoberfläche mit sehr großem Radius.

Nehmen wir von 10 zu 10 mm der Keilverschiebung das Mittel, so ergeben sich für die Absorptionszunahme (in Größenklassen) pro 1 mm Keilverschiebung die in Tabelle V zusammengestellten Werte. Die erste Spalte gibt die Gegend des Keiles an, für welche die Absorptionskonstante gilt, die zweite und dritte die direkten Messungsergebnisse bzw. die ausgeglichenen Werte; die vierte Kolumne enthält die Differenzen: Rechnung—Beobachtung und die beiden letzten geben die vollständige Absorptionskurve des Keiles, in welcher der Nullpunkt der Keilverschiebung willkürlich gleichfalls zum Ausgangspunkt der Keilabsorptionen gewählt ist.

Tabelle V.

Keilverschiebung	Absorptionszunahme pro 1 mm			Absorptionskurve	
	gemessen	ausgeglichen	R—B	Länge	Absorption
mm	mg	mg	mg	mm	mg
0— 10	0,073	0,074	+ 0,001	0	0,00
10— 20	74	73	— 1	10	0,74
20— 30	71	72	+ 1	20	1,47
30— 40	72	71	— 1	30	2,19
40— 50	68	70	+ 2	40	2,90
50— 60	70	69	— 1	50	3,60
60— 70	67	68	+ 1	60	4,29
70— 80	68	67	— 1	70	4,97
80— 90	65	66	+ 1	80	5,64
90—100	67	65	— 2	90	6,30
100—110	63	64	+ 1	100	6,95
110—120	63	63	± 0	110	7,59
				120	8,22

Wie man sieht, ist die Homogenität des Glases und der Schliff des Keiles von hervorragender Gleichmäßigkeit.

An Blenden (*Bl*) sind dem Instrument 5 Stück beigegeben, und zwar drei kreisförmige von verschiedenem Durchmesser und zwei Strichblenden verschiedener Breite; alle Blenden sitzen auf einem gemeinsamen Schlitten und können durch einfache Verschiebung ausgewechselt werden, wobei die richtige Stellung im Strahlengang durch das Einschnappen einer Feder markiert ist. Die direkten Dimensionen der Blenden und ihrer verkleinerten Abbildungen in der Plattenebene durch zwei verschieden starke Mikroskopobjektive O_2, welche dem Instrument beigegeben werden, sind aus der Tabelle VI ersichtlich.

Tabelle VI.

Bezeichnung	Form	Durchmesser mm	Breite mm	Länge mm	Blendenwerte auf der Platte Objektiv A Durchmesser bzw. Breite mm	Objektiv B Durchmesser bzw. Breite mm
I	Kreis	7,342	—	—	0,470	0,692
II	„	4,357	—	—	0,287	0,410
III	„	1,774	—	—	0,113	0,167
IV	Strich	—	0,245	7,42	0,016	0,023
V	„	—	0,085	7,48	0,005	0,008

Um zu untersuchen, ob das Licht der Beleuchtungslampe auch die größte der Blenden noch vollständig gleichmäßig ausfüllt, wurde das Intensitätsverhältnis der Blenden I/II, II/III und I/III sowohl aus ihren Dimensionen berechnet, als auch durch die Keilverschiebung direkt gemessen. Die so erhaltenen Werte stimmen durchaus befriedigend überein, wie die folgenden Zahlen zeigen.

	Berechnet mg	Gemessen mg
I/II	1,133	1,128
II/III	1,951	1,955
I/III	3,084	3,083

Die Beleuchtung der Blenden ist also bei richtiger Einstellung des Kondensators O_1 eine vollständig gleichmäßige.

Die Leistungsfähigkeit des neuen Elektro-Mikrophotometers bei der Lösung der verschiedensten Aufgaben zur photometrischen Auswertung photographischer Platten möge nun an einigen Beispielen gezeigt werden. Vorausgeschickt sei die Bemerkung, daß jede der folgenden Messungen nur auf einer einzigen Einstellung beruht, und daß im Mittel jede einzelne Messung — Einstellung der Koordinaten und des Keiles — einen Zeitaufwand von 30 bis 40 Sekunden erfordert hat.

I. Benutzung fokaler Sternaufnahmen zur Ableitung von Intensitätsverhältnissen.

Bei einer Himmelsaufnahme in der Brennebene eines photographischen Fernrohres bilden sich die Sterne als kleine Scheibchen verschiedenen Durchmessers — je nach ihrer Helligkeit — ab. Bei einem guten Objektiv haben die kleinsten Sternscheibchen (schwächsten Sterne) einen Durchmesser von der Größenordnung 0,01 mm; das Anwachsen der Durchmesser mit der Helligkeit der Sterne — eine Art von Tyndalleffekt in unserer Atmosphäre und vielleicht auch in den Glasmassen des Objektivs — zeigt einen verschiedenartigen Verlauf, der von der Art und Größe des angewandten Objektivs oder Spiegels, sowie von den atmosphärischen Bedingungen zur Zeit der Aufnahme abhängt[1]).

Es fehlt nicht an Versuchen, Messungen dieser Durchmesser zur Ableitung der Helligkeitsverhältnisse von Sternen zu verwerten, doch sind derartige Untersuchungen im allgemeinen bisher nur für Durchmusterungsarbeiten nutzbringend gewesen, da die erreichte Genauigkeit in der Mehrzahl der Fälle hinter anderen photometrischen Me-

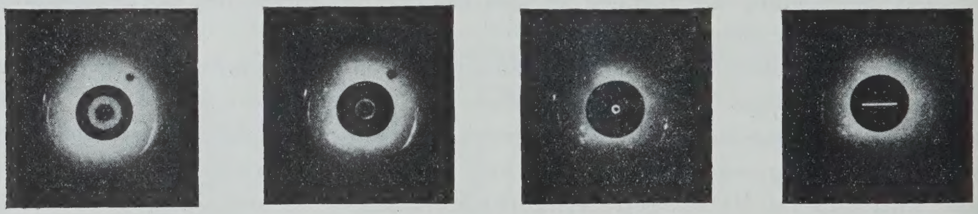
---

[1]) Vgl. *Publik. d. Astrophysikal. Inst. Königstuhl-Heidelberg. Bd. II. Nr. 10. 1906* und *Sirius 1920. Heft 2/3.*

thoden zurücksteht und höheren Ansprüchen nicht genügt. Der Grund für diese geringe Genauigkeit liegt in der Tatsache begründet, daß der Rand der fokalen photographischen Sternscheibchen meist recht unscharf und verwaschen aussieht, weil innerhalb des Scheibchens ein allmählicher Helligkeitsabfall von der Mitte gegen den Rand hin vorhanden ist, so daß man bei der Messung häufig in Zweifel sein wird, welche Stelle als der eigentliche Rand des Scheibchens aufzufassen ist.

Die Ausnutzungsmöglichkeit gerade dieser verschieden großen fokalen Sternscheibchen zu exakten Helligkeitsbestimmungen wurde bei der Konstruktion des neuen Elektro-Mikrophotometers in erster Linie berücksichtigt.

Bildet man eine der runden Blendenöffnungen scharf auf der Schichtebene einer fokalen Sternplatte ab und stellt ein Sternscheibchen, das kleiner sein muß als das Blendenbild, in die Mitte desselben, so werden Sternscheibchen verschiedenen Durchmessers und verschiedener Schwärzung eine Änderung des Photostromes erzeugen, da nur das zwischen Sternscheibchen und Blendenrand vorbeigehende bzw. das durch nicht absolut undurchsichtige Stellen des Sternscheibchens hindurchgehende Licht in die Photozelle gelangt. Man mißt also gewissermaßen ein Konglomerat von Durchmesser und Durchsichtigkeit[1]). Um kontrollieren zu können, ob Blendenbild und Stern genau zentriert sind, ist der Spiegel des Lummer-Brodhun-Würfels nicht völlig undurchsichtig versilbert, so daß sich im Okular (*Oc*) das Blendenbild mit dem darin stehenden Stern beobachten läßt.



a b c d

Fig. 4. Blendenbilder.

Es ist klar, daß die photometrische Genauigkeit dieser Methode von dem Verhältnis: Oberfläche des Sternscheibchens zur Oberfläche des Blendenbildes abhängt, also bei gegebener Blende mit abnehmendem Durchmesser des Sternscheibchens dauernd geringer wird. Aus diesem Grunde wird man, wenn ein größeres Helligkeitsintervall zu überbrücken ist und für alle Intensitäten annähernd die gleiche Genauigkeit verlangt wird, auch Blenden verschiedenen Durchmessers anwenden müssen. Die Fig. 4 zeigt die Blenden I—III in dieser Verwendungsart; das Gesichtsfeld wurde durch das Okular (*Oc*) als Vergrößerungssystem aufgenommen.

Man erkennt auf allen Bildern den runden (dunklen) Spiegel des Lummer-Brodhun-Würfels, umgeben von einem Lichtkranz, der von der Sucherbeleuchtung des Meßtisches herrührt. Auf dem Bilde a sieht man durch den Spiegel hindurch in der Mitte des Spiegels das Bild der Blende I (Durchmesser 0,470 mm) und darin das fokale Bild eines Sternes ca. 7. Größe; rechts oberhalb, bereits außerhalb des Spiegels, ist ein anderer Stern von etwa 10. Größe im Gesichtsfeld sichtbar.

Bild b zeigt den gleichen Stern 7. Größe in der Blende II (Durchmesser 0,287 mm),

[1]) In ähnlicher Weise mißt auch Schilt (*l. c.*) die Intensitätsverhältnisse von Sternen aus den fokalen Bildern.

für die er die obere Grenze der dieser Blende zugänglichen Sterne bildet. Bild c zeigt die Blende III (Durchmesser 0,113 mm) mit einem Sterne von etwa der 11,5 Größe. Mit dieser Blende lassen sich noch die kleinsten Sternscheibchen von ca. 0,01 mm Durchmesser, selbst wenn sie noch nicht völlig durchgeschwärzt sind, mit einem Fehler von wenigen Hunderstel einer Größenklasse zu Helligkeitsbestimmungen ausnutzen.

Das Bild d endlich zeigt die Strichblende IV (Breite 0,015 mm), welche bei der Photometrierung von Spektrallinien zur Verwendung gelangt.

Um die Brauchbarkeit der Methode gerade für die Auswertung der schwächsten Sternbilder zu zeigen, die bisher der exakten photometrischen Messung nicht zugänglich waren, habe ich mit der Blende III eine fokale Platte der Polarsequenz[1]) durchgemessen, welche an der hiesigen Sternwarte mit dem Apochromat-Tessar von 82 mm Öffnung und 842,1 mm Brennweite aufgenommen worden ist. Die Belichtungszeit betrug 60 Minuten; die Platte zeigt noch Sterne 13. Größe, die optische Achse geht durch den Polarstern.

Die Messungen sind in Tabelle VII zusammengestellt.

Tabelle VII.

Nr.	Phot. Helligkeit mg	Keil-Ablesung Bl. III	Bemerkungen
12	9,86	5,2	
13	10,30	15,3	
14	10,65	22,2	
15	11,08	25,6	
16	11,40	27,2	
17	11,63	29,7	
18	12,06	31,6	
19	12,42	33,7	
20	12,73	35,4	
21	12,96	36,4	
22	13,19	36,5	
5 r	9,91	5,5	
6 r	10,30	14,7	
7 r	10,70	20,0	
8 r	11,20	25,5	
9 r	11,70	29,8	
10 r	12,35	33,3	
11 r	12,97	35,4	
4 s	10,12	11,5	
5 s	10,81	(17,3)	5 s + 7 s
6 s	11,11	25,9	

Die erste und zweite Kolumne geben Bezeichnung und photographische Helligkeit der Sterne nach *Harvard Annals Bd. 71. S. 231,* die dritte Spalte enthält die den Photostrom kompensierenden Keileinstellungen, deren letzte Dezimale noch absolut sicher ist. Mit Stern 5 s erscheint der Stern 7 s (12,45 mg) gleichzeitig in der Blende, so daß sich die Messung auf die Summe der beiden Bilder bezieht.

Die graphische Darstellung dieser Messungen als Funktion der Harvard-Helligkeiten (s. Fig. 5) zeigt, wie gut sich die Messungen den am *Harvard College Observatory* abgeleiteten Helligkeitswerten anschmiegen; selbst die schwächsten auf der Platte vor-

[1]) *Ann. of Harvard Coll. Observ. Vol. 71. Nr. 3. 1917.*

handenen Sternpünktchen sind der photometrischen Auswertung mit dem Elektro-Mikrophotometer noch zugänglich gewesen, und zwar entspricht einem Zehntel Millimeter der Keilverschiebung in diesem letzten Teil der Kurve eine Helligkeitsänderung von 0,02 bis 0,03 Größenklassen. Die hellsten, mit der Blende III auf dieser Platte zu messenden Sterne entsprechen etwa der 9,75 Größe, so daß dieser Blende ein Helligkeitsbereich von etwa 3,5 Größenklassen zugänglich ist. Mit allen 3 Blenden läßt sich auf einer einzigen Platte mit einer Aufnahme ein Intensitätsverhältnis von rund 10 Größenklassen überbrücken. (Stern 1 s mit der Helligkeit 2,69 mg ergab in Blende I eine Keileinstellung 46,0.)

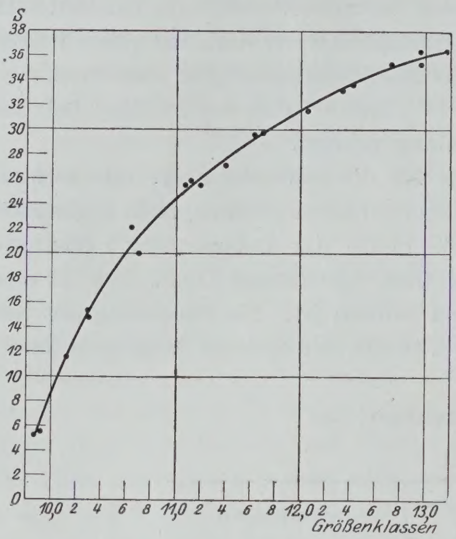


Fig. 5. Messungen in der Polarsequenz.

Durch Serienaufnahmen mit variierter Expositionszeit oder durch Anwendung von Gitterblenden von dem Aufnahmeobjektiv ließe sich der Messungsbereich beliebig erweitern und eine selbständige absolute Intensitätsskala gewinnen.

II. Normale Schwärzungsphotometrie.

Die bei der Ausmessung fokaler Sternscheibchen benutzte Methode stellt einen Sonderfall dar. Im allgemeinen wird man bei der photometrischen Auswertung photographischer Aufnahmen die größere oder geringere Dichtigkeit des Silberniederschlages, die Schwärzung, zahlenmäßig bestimmen wollen.

Zur Messung solcher Schwärzungen läßt sich das Instrument mit jeder beliebigen Blende bei einer für alle Schwärzungen gleichbleibenden inneren Meßgenauigkeit benutzen; Form und Größe der zu wählenden Blende wird lediglich durch die Dimensionen des zu messenden Objektes auf der Platte bestimmt. Im allgemeinen wird es aber vorteilhaft sein, die Blende so groß zu wählen, als es diese Verhältnisse irgend gestatten, weil damit der Einfluß zufälliger Plattenfehler auf das Resultat verringert wird.

IV
III
II
I

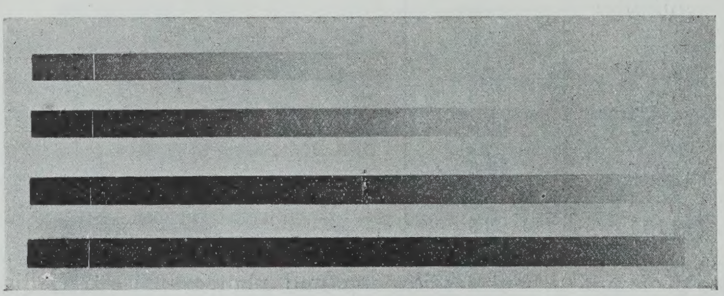


Fig. 6. Keilaufnahmen.

Als Messungsbeispiel diene eine Platte, welche verschiedene Schwärzungskeile trägt, die durch Aufkopieren eines Zeissischen geschliffenen Neutralkeiles auf die Platte bei verschiedenen Lampenentfernungen aber gleichen Belichtungszeiten gewonnen sind. Die Entfernungen der Normallampe wurden auf der optischen Bank so gewählt, daß zwischen zwei aufeinander folgenden Keilen das Intensitätsverhältnis zugeordneter Punkte genau 1,00 Größenklasse beträgt. Als Nullmarke trägt der Keil in der Nähe

seines hellen Endes einen undurchsichtigen Querstrich, der sich auf der Platte scharf einstellen läßt. Fig. 6 zeigt eine Abbildung des Originalnegativs in natürlicher Größe.

Die vier Keile wurden von 2 zu 2 mm durchphotometriert, als Nullpunkt der linearen Einstellung diente die Strichmarke; zur Verwendung kam Blende I. Die Schwärzungsmessungen wurden in bekannter Weise[1]) in Intensitätsverhältnisse umge-

Tabelle VIII.

Lineare Abstände mm	Schwärzungen				Intensitätsverhältnisse				Absorptionskurve		
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	neu	alt	Diff. in 0,01
— 5	4,7	17,0	34,8	60,9	8,62	7,71	6,60	5,62	— 0,23	— 0,31	— 8
— 3	6,3	19,2	37,5	64,2	8,50	7,54	6,48	5,50	— ,10	— ,18	— 8
— 1	8,1	21,8	40,0	66,5	8,39	7,34	6,37	5,41	+ ,03	— ,06	— 9
+ 1	9,6	23,2	42,7	69,3	8,28	7,24	6,26	5,30	+ ,14	+ ,06	— 8
+ 3	10,8	24,2	44,8	71,9	8,19	7,18	6,19	5,20	+ ,22	+ ,17	— 5
+ 5	12,0	25,5	47,5	74,3	8,09	7,10	6,09	5,09	+ ,32	+ ,27	— 5
+ 7	13,0	27,4	50,2	76,4	8,01	6,98	5,99	5,00	+ ,42	+ ,37	— 5
+ 9	14,5	28,7	52,9	78,7	7,90	6,91	5,90	4,89	+ ,51	+ ,47	— 4
+ 11	15,6	30,4	55,3	80,6	7,82	6,82	5,82	4,80	+ ,60	+ ,57	— 3
+ 13	16,8	32,0	58,1	82,3	7,73	6,74	5,72	4,70	+ ,69	+ ,67	— 2
+ 15	18,2	33,9	60,7	84,0	7,62	6,64	5,63	4,61	+ ,79	+ ,77	— 2
+ 17	19,3	35,9	63,1	85,5	7,54	6,55	5,54	4,51	+ ,88	+ ,86	— 2
+ 19	20,5	37,8	65,8	86,8	7,44	6,46	5,44	4,43	+ ,97	+ ,96	— 1
+ 21	(22,1)	40,4	68,3	88,0	(7,32)	6,36	5,34	4,35	+ 1,07	+ 1,06	— 1
+ 23	23,0	42,6	70,6	89,4	7,26	6,27	5,25	4,25	+ ,15	+ ,15	0
+ 25	24,4	45,2	73,2	90,4	7,17	6,17	5,14	4,17	+ ,25	+ ,25	0
+ 27	25,7	47,6	75,2	91,5	7,09	6,09	5,06	4,08	+ ,33	+ ,34	+ 1
+ 29	27,4	50,0	77,1	92,7	6,98	6,00	4,97	3,97	+ ,43	+ ,44	+ 1
+ 31	29,2	52,5	78,8	93,9	6,88	5,91	4,89	3,86	+ ,52	+ ,53	+ 1
+ 33	30,6	55,4	80,6	94,7	6,80	5,82	4,80	3,78	+ ,61	+ ,62	+ 1
+ 35	32,5	58,2	82,2	95,8	6,71	5,72	4,71	3,65	+ ,71	+ ,72	+ 1
+ 37	35,0	61,0	83,8	96,0	6,59	5,62	4,62	3,62	+ ,80	+ ,81	+ 1
+ 39	37,0	63,5	(85,8)	97,0	6,50	5,53	(4,50)	3,49	+ ,90	+ ,91	+ 1
+ 41	38,7	66,2	86,7	97,5	6,43	5,42	4,44	3,39	+ ,99	+ 2,00	+ 1
+ 43	41,0	68,3	88,1	97,9	6,33	5,33	4,34	3,30	+ 2,09	+ ,10	+ 1
+ 45	(42,9)	(70,0)	89,4	98,3	(6,26)	(5,27)	4,24	3,20	+ ,17	+ ,19	+ 2
+ 47	46,0	73,1	90,5	98,5	6,14	5,15	4,16	3,13	+ ,27	+ ,28	+ 1
+ 49	48,4	74,9	91,6	98,8	6,06	5,07	4,07	3,05	+ ,36	+ ,37	+ 1
+ 51	50,7	76,7	92,6	99,0	5,98	4,99	3,98	2,97	+ ,43	+ ,47	+ 4
+ 53	53,3	78,7	93,7	99,3	5,89	4,89	3,88	2,85	+ ,53	+ ,56	+ 3
+ 55	55,8	80,3	94,5	99,5	5,81	4,81	3,80	2,77	+ ,61	+ ,66	+ 5
+ 57	59,0	81,9	95,3	99,6	5,69	4,73	3,71	2,74	+ ,69	+ ,75	+ 4
+ 59	61,8	83,8	95,9	99,8	5,59	4,62	3,64	2,67	+ ,78	+ ,85	+ 3
+ 61	64,6	85,2	96,7	100,0	5,49	4,53	3,52	2,62	+ ,90	+ ,94	+ 4
+ 63	67,3	86,5	(97,1)	100,0	5,38	4,45	(3,46)	—	+ ,99	+ 3,04	+ 5
+ 65	(71,1)	(88,8)	97,8	—	(5,23)	(4,29)	3,32	—	+ 3,11	+ ,14	+ 3
+ 67	72,5	89,4	98,3	—	5,17	4,25	3,20	—	+ ,21	+ ,23	+ 2
+ 69	74,3	90,6	98,7	—	5,10	4,15	3,07	—	+ ,30	+ ,33	+ 3
+ 71	75,8	92,1	98,9	—	5,03	4,02	3,01	—	+ ,39	+ ,42	+ 3
+ 73	78,1	92,8	(99,0)	—	4,92	3,96	(3,00)	—	+ ,47	+ ,52	+ 5
+ 75	80,3	94,0	99,4	—	4,81	3,85	2,80	—	+ ,59	+ ,61	+ 2
+ 77	81,9	94,9	99,5	—	4,73	3,76	2,75	—	+ ,66	+ ,71	+ 5
+ 79	83,6	95,9	99,6	—	4,63	3,64	2,70	—	+ ,75	+ ,80	+ 5

[1]) *Astronom. Mitteil. d. Königl. Sternwarte zu Göttingen. Vierzehnter Teil. 1910. S. 11 ff.* und *Biochem. Zeitschr.* **38.** *Heft 5. 1912. S. 354 ff.*

setzt, der Nullpunkt der in Größenklassen ausgedrückten Helligkeitsverhältnisse ist willkürlich gewählt.

Messungen und Ergebnisse sind in Tabelle VIII zusammengestellt. Die Tabelle enthält der Reihe nach: Die linearen Abstände von der Nullmarke, die Schwärzungswerte (Keilablesungen) für die 4 Keile und die auf Intensitätsverhältnisse umgerechneten Schwärzungen. Die drei letzten Spalten enthalten die definitive Absorptionskurve des Keiles, wie sie sich im Mittel aus den vier Keilbildern ergeben hat, zum Vergleich damit die aus früheren zahlreichen Messungen mit dem Hartmannschen Mikrophotometer gewonnene Absorptionskurve desselben Keiles, sowie die Differenzen zwischen den alten und neuen Ergebnissen. Die in Klammern ( ) gesetzten Messungen sind wegen kleiner Plattenfehler an den betreffenden Stellen verdächtig.

Trotzdem die Messungen mit dem Elektro-Mikrophotometer nur auf 4 Keilen einer einzigen Platte beruhen bei einmaliger Einstellung einer jeden Schwärzung, die alten Messungen mit dem Hartmannschen Mikrophotometer das Mittel aus Messungen von je 4 Keilen auf 28 Platten darstellen, von denen jeder Keil zweimal vollständig durchgemessen wurde bei je viermaliger Einstellung einer jeden Schwärzung, dürfte die Genauigkeit beider Reihen etwa gleichwertig sein; der kleine systematische Gang, der sich in den Differenzen zeigt, beträgt über die ganze Keillänge nur ca. 0,1 Größenklasse, und ich wage nicht zu entscheiden, welcher der beiden Messungsreihen er zuzuschreiben ist. Dabei haben die Messungen der neuen photoelektrischen Reihe einen Zeitaufwand erfordert, der rund 500 mal geringer ist, als derjenige, der zur Gewinnung des optisch-photometrischen Materials erforderlich war.

III. Photometrierung von Spektrallinien.

Zur Messung von Schwärzungen in Spektrallinien sind die beiden Strichblenden IV und V bestimmt. Die Auflösung feinster Strukturen hängt hier einmal von der Breite des Blendenbildes auf der Platte, zweitens von der Einstellgenauigkeit der Koordinaten des Meßtisches ab. Bei dem hier beschriebenen Instrument beträgt die Breite des Bildes der schmalsten Strichblende (V) auf der Platte unter Anwendung des stärkeren Objektives (O_2) 0,005 mm, ist also bereits kleiner, als die geringste, am Schätzmikroskop noch ablesbare Koordinateneinstellung (0,01 mm); Linienelemente von geringerer Breite als 0,01 mm sind daher diesem Instrumente nicht mehr zugänglich; die Lösung solcher Aufgaben liegt allerdings auch nicht in dem Arbeitsplan der Sternwarte Österberg.

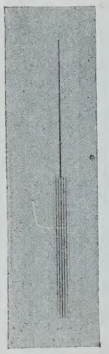


Fig. 7. Zeemaneffekt von der Linie 4810,53 Å-E. (*Zn*).

Durch Verwendung eines Meßtisches mit mikrometrischer Bewegung, bei der sich eine Einstellungvon 0,001 mm Genauigkeit leicht erzielen läßt[1]), und durch Benutzung eines Objektives O_2 mit noch kürzerer Brennweite ließe sich das Elektro-Mikrophotometer ohne Schwierigkeit so umgestalten, daß selbst die zartesten Feinstrukturen von Linien, die dem Beobachter am Meßapparat gerade noch erkennbar sind, auch der photometrischen Auswertung erschlossen werden.

Daß das Instrument aber auch in seiner jetzigen Ausrüstung die exakte Photometrierung relativ schmaler Spektrallinien gestattet, zeigt das folgende Beispiel.

[1]) Nach Rücksprache mit den Askania-Werken werden die neueren Instrumente mit einer derartigen zusätzlichen Mikrometerbewegung von 10 mm Länge in der Richtung der Y-Koordinate ausgerüstet.

Zur Ausmessung gelangte eine Aufnahme, die am großen Gitter des hiesigen Physikalischen Institutes der Universität erhalten wurde, und welche Herr Dr. Back freundlichst zur Verfügung gestellt hatte. Es handelt sich um die Aufspaltung der Linie 4810,53 Å.-E. des *Zn* im magnetischen Felde. Zur Verwendung kam die IV. Ord-

Tabelle IX.

x mm	*S*	*x* mm	*S*	*x* mm	*S*
105,10	40,6	105,90	38,8	106,68	27,7
,12	39,7	,91	35,7	,70	36,9
,14	39,4	,92	33,8	,72	38,4
,16	40,7	,93	27,0	,74	(38,1)
,18	40,6	,94	25,2	,76	(39,3)
,20	40,4	,95	21,1	,78	39,5
,22	39,6	,96	17,8	,80	40,5
,24	39 2	,97	16,2	,82	39,3
,25	38,8	,98	16,3	,84	39,8
,26	38,2	,99	17,8	,86	(39,6)
,27	36,9	106,00	27,4	,88	40,1
,28	34,2	,02	38,7	,90	39,1
,29	34,0	,04	39,5	,92	36,7
,30	34,0	,06	(38,8)	,94	32,9
,31	35,0	,08	40,1	,96	26,6
,32	36,0	,10	40,3	,97	22,1
,34	39,2	,12	40,3	,98	18,0
,36	40,0	,14	40,4	,99	18,0
,38	40,5	,16	40,5	107,00	23,3
,40	40,3	,18	39,8	,02	37,2
,42	40,5	,20	39,2	,04	38,5
,44	40,1	,22	38,2	,06	39,5
,46	40,3	,24	35,8	,08	40,1
,48	40,1	,26	30,1	,10	40,2
,50	40,2	,28	21,4	,12	39,8
,52	40,2	,29	12,0	,14	40,9
,54	(38,1)	,30	7,1	,16	40,3
,56	(36,5)	,31	9,5	,18	40,3
,58	35,7	,32	15,9	,20	39,5
,60	32,5	,34	30,2	,22	40,5
,61	23,0	,36	36,4	,24	40,2
,62	21,2	,38	39,6	,26	39,2
,63	20,0	,40	40,2	,28	38,8
,64	21,5	,42	(39,2)	,29	36,2
,65	23,6	,44	40,5	,30	33,6
,66	27,0	,46	40,5	,31	33,0
,68	34,9	,48	40,1	,32	34,7
,70	39,1	,50	40,5	,34	37,3
,72	40,3	,52	40,3	,36	38,3
,74	40,2	,54	39,6	,38	39,5
,76	40,2	,56	39,8	,40	40,1
,78	40,3	,58	37,9	,42	39,9
,80	40,2	,60	33,5	,44	40,0
,82	40,5	,62	21,9	,46	40,0
,84	40,3	,63	16,5	,48	39,8
,85	40,3	,64	15,6	,50	40,5
,86	40,4	,65	15,6	,52	40,0
,88	39,9	,66	16,3	,54	40,6

nung des Gitters; die Dispersion beträgt hier 0,615 Å.-E. pro Millimeter. Eine Reproduktion des Zeemaneffektes dieser Linie zeigt die Fig. 7 in Originalgröße.

Diese Liniengruppe wurde etwa in der Mitte mit Blende V und dem stärkeren Objektive O_2 von 0,02 zu 0,02 mm einmal durchgemessen; in der Nähe der Maxima der einzelnen Komponenten wurden die Messungen von 0,01 zu 0,01 mm angestellt, um mit Sicherheit die Stellen größter Schwärzungen in den einzelnen Linien zu erhalten. Die Messungsergebnisse sind in Tabelle IX (*S. 331*) zusammengestellt. In der ersten Spalte steht jedesmal die lineare Koordinate in der Richtung der Längsausdehnung des Spektrums, die zweite Spalte gibt die gemessene Schwärzung (Keilablesung). Die in ( ) gesetzten Zahlen sind infolge von Plattenfehlern verdächtig.

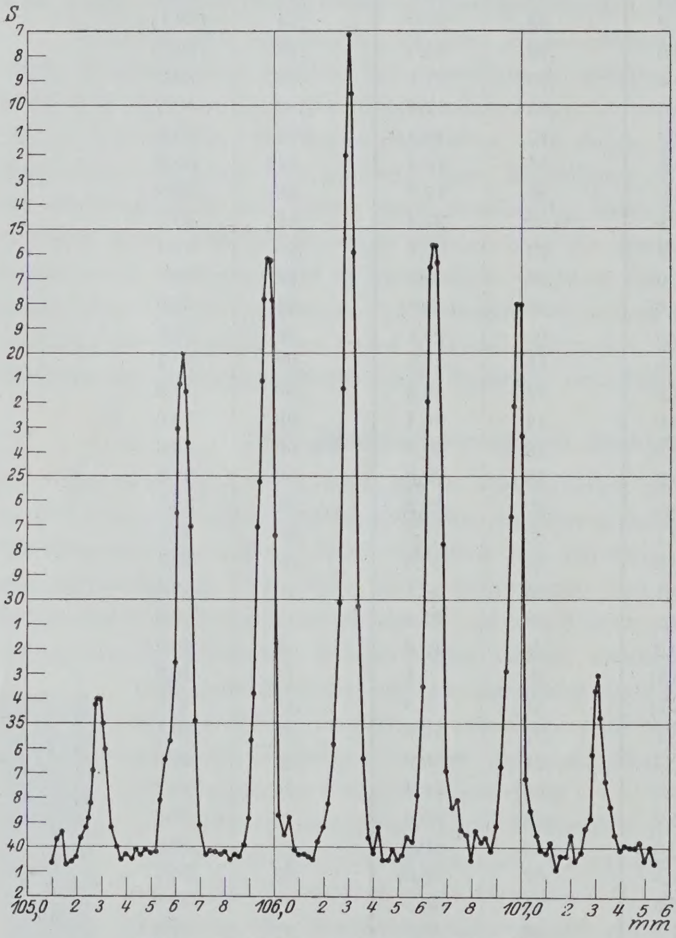


Fig. 8. Graphische Darstellung der Tabelle IX.

Eine graphische Darstellung dieser Messungen ist in Fig. 8 gegeben.

Die Darstellung zeigt, mit welcher Sicherheit sich die Schwärzungen der einzelnen Komponenten haben bestimmen lassen. Eine kleine Unsicherheit in den einzelnen Punkten der steilen auf- und absteigenden Äste der einzelnen Linien, die aber das Resultat in keiner Weise beeinflußt, rührt von der verhältnismäßig rohen Koordinateneinstellung her; die photometrischen Messungen sind bis zur letzten Stelle absolut exakt. Die Maxima sind vollständig sicher verbürgt, die Unterschiede in den einander entsprechenden Komponenten auf der rechten und linken Seite sind reell und nach Mitteilung von Herrn Dr. Back theoretisch bedingt. Da die Platte keine Intensitätsskala trägt, ist es nicht möglich, aus den gemessenen Schwärzungen die Intensitäts-Verhältnisse abzuleiten.

Aus diesen drei Beispielen lassen sich die hohe innere Meßgenauigkeit, die Freiheit von systematischen Fehlerquellen und die große Arbeitsökonomie des Elektro-Mikrophotometers zur Genüge beurteilen. Ich hoffe, daß es dank seiner vielseitigen Anwendungsmöglichkeit die Lösung einer Reihe kosmischer und physikalischer Fragen dem Ziele näher bringen wird, deren Beantwortung bisher auf erhebliche Schwierigkeiten stieß.

Es ist mir eine angenehme Pflicht, den Askaniawerken (Bambergwerk) und dem bei dem Bau des Instrumentes beteiligten Personal meinen Dank auszu-

sprechen für die Sorgfalt, mit der meine nicht gering gestellten Anforderungen bis ins Kleinste erfüllt worden sind. Zu besonderem Danke fühle ich mich auch dem Elektrophysikausschuß der Notgemeinschaft für die Deutsche Wissenschaft verpflichtet, welcher durch Gewährung der Mittel zur Beschaffung einer Hochspannungsbatterie großer Kapazität und eines Kompensationsapparates wesentlich zum Gelingen dieser Untersuchungen beigetragen hat.

Tübingen, April 1925.

Über ein neues halbautomatisches Entzerrungsgerät für den praktischen topographischen Gebrauch.

Von

Dipl.-Ing. **Claus Aschenbrenner** in München.

Die Aufgabe.

Wird aus der Luft von einem ebenen Gelände eine photographische Aufnahme mit beliebig geneigter optischer Achse gemacht, so kann man bekanntlich diese Photographie durch „Entzerrung“ in ein kartographisches Abbild des aufgenommenen Geländes überführen. Unter Entzerrung versteht man dabei eine optische Transformation der ursprünglichen Aufnahme, welche eine Zentralperspektive mit geneigter Bildebene darstellt, in eine Zentralperspektive mit horizontaler Bildebene, welche außerdem einen vorgegebenen Maßstab aufweisen sollen. Mehrere solcher entzerrter Aufnahmen können dann durch Aneinanderkleben zu einem geschlossenen Luftplanbild zusammengesetzt werden, welches ein maßstabrichtiges, naturgetreues Grundrißbild des aufgenommenen Geländes darstellt. Durch zeichnerische Bearbeitung des Bildinhaltes — wie Nachfahren der Wege, Flußläufe, Wald- und Feldergrenzen, das Hervorheben der Ortschaften usw., sowie durch das Weglassen unwichtiger Einzelheiten — kann aus dem Luftplanbild die Luftbildkarte gewonnen werden, welche den Bildinhalt des Luftplanbildes in die gebräuchliche kartographische Form übersetzt.

Bei einem wirklich ebenen Gelände wäre es theoretisch gleichgültig, mit welcher Neigung die Aufnahmen aus der Luft gemacht werden, in der Praxis ist dies jedoch aus zwei Gründen nicht der Fall. Einmal werden bei der Entzerrung geneigter Aufnahmen jene Bildteile, welche vom Nadirpunkt einen großen Abstand haben, bedeutend stärker vergrößert als näher am Nadirpunkt gelegene, so daß die Bildqualität der Entzerrung sehr ungleich ausfällt, zweitens werden die Lagefehler, die von Höhenunterschieden im Gelände herrühren — ein wirklich ebenes Gelände ist ja ein in der Natur niemals vorkommender Idealfall —, um so größer, je mehr der Zielstrahl von der Lotrichtung abweicht. Will man daher für das Zusammensetzen von Luftplanbildern Einzelbilder von möglichst gleichmäßiger photographischer Qualität und Verteilung der unvermeidlichen Lagefehler haben, so muß man bestrebt sein, die Aufnahmen aus der Luft möglichst mit lotrecht nach unten gerichteter optischer Achse zu machen. Die Einhaltung der Lotrichtung beim Photographieren aus dem Flugzeug ist mit den gewöhnlichen Hilfsmitteln — Schätzung und Libellen — nur auf etwa 6^0 genau möglich. Die Verwendung genauerer künstlicher Horizonte etwa unter Zuhilfenahme von Kreiseln ist äußerst kostspielig und wird sich in den seltensten Fällen wirtschaftlich rechtfertigen lassen. Abweichungen von der Lotrichtung, welche größer sind als 6^0 bis zu etwa 10^0 sind äußerst selten und können von fachkundigem Per-

sonal ganz vermieden werden[1]). Ein Entzerrungsgerät für den praktischen topographischen Gebrauch kann sich also auf die Auswertung von Aufnahmen beschränken, deren optische Achse um nicht mehr als 10° von der Lotrichtung abweicht.

Ein Entzerrungsgerät hat nicht nur die Aufgabe, die perspektiven Verzerrungen, welche von einer unbeabsichtigten Abweichung der Aufnahmerichtung von der Lotrichtung herrühren, zu beseitigen, es soll außerdem auch das Bild auf einen vorgegebenen Kartenmaßstab vergrößern bzw. verkleinern. Der Bereich dieser Vergrößerung bzw. Verkleinerung ist für die Dimensionierung des Gerätes von großer Wichtigkeit. Er wird im wesentlichen wieder durch wirtschaftliche Gesichtspunkte bestimmt. Eine beträchtliche Verkleinerung der Bilder ist wegen des damit verbundenen großen Verbrauches von Aufnahmematerial unwirtschaftlich. Man wird vielmehr bestrebt sein, den Bildmaßstab kleiner zu halten als den Kartenmaßstab, damit durch eine Aufnahme eine möglichst große Fläche gedeckt wird. Diesem Bestreben werden jedoch dadurch Schranken gezogen, daß die Bildqualität bei stärkerer Vergrößerung stark abnimmt, so daß die Einzelheiten der Aufnahme verschwommen erscheinen bzw. ganz verschwinden. Man darf nicht vergessen, daß die Flugaufnahme hier wesentlich ungünstiger ist als etwa eine gewöhnliche Photographie vom Boden aus. Durch die große Fluggeschwindigkeit und die Erschütterungen des ganzen Flugzeugkörpers durch den Motor leidet die Schärfe der Flugaufnahme in Hinsicht auf die Vergrößerungsmöglichkeit, so daß eine 2malige lineare Vergrößerung wohl nur ausnahmsweise als noch zulässig angesehen werden kann. Ein Spielraum in der linearen Änderung des Bildmaßstabes vom 2fachen bis zum 2—3fachen dürfte allen Fällen der Praxis gerecht werden, denn man wird im allgemeinen bestrebt sein, den Bildmaßstab dem 0,85- bis 1fachen des Kartenmaßstabes gleich zu machen (entsprechend einer 1- bis 1,2fachen Vergrößerung des Bildes).

Im vorhergehenden wurde festgesetzt, welchen äußeren Bedingungen sich ein praktisches Entzerrungsgerät anzupassen hat. Es soll jetzt untersucht werden, welchen inneren Bedingungen der Apparat hinsichtlich der Genauigkeit des Resultates zu genügen hat. Es soll davon abgesehen werden schlechthin zu erklären, daß die optische Transformation in aller Strenge richtig sein muß, denn es hat keinen Sinn, mehr Genauigkeit zu geben als verlangt wird. Jedes aus einer Entzerrung hervorgegangene kartographische Erzeugnis ist, wie schon erwähnt, mit unvermeidlichen Lagefehlern behaftet, welche von Höhenunterschieden im Gelände herrühren. Die Ausführung der Entzerrung erfolgt praktisch durch Einpassen von Bildpunkten und -linien auf irgendwie kartographisch festgelegte Punkte oder Linien. Man wird daher an Genauigkeit nicht mehr erreichen können als die Genauigkeit, mit welcher Bild und kartierter Punkt bzw. Strich zur Deckung gebracht werden können, das sind etwa 0,2 mm in der Karte. Man wird also auch Fehler bis zu 0,2 mm Lagegenauigkeit in der Entzerrung zulassen können, welche in der inneren Konstruktion des Apparates ihren Grund haben; solche Fehler werden bei der kartographischen Ausarbeitung nicht mehr in Erscheinung treten.

Da die Entzerrung eine optische Transformation ist, so spielt bei einem Entzerrungsgerät die Einhaltung der optischen Bedingungen für Scharfabbildung eine große Rolle. Nach A. Miethe[2]) sprechen wir ein von einer Linse erzeugtes reelles Bild als

---

[1]) Von 100 willkürlich herausgegriffenen Aufnahmen aus einer größeren Arbeit des Konsortiums Luftbild G. m. b. H.-Stereographik G. m. b. H. in München betrug die durchschnittliche Abweichung von der Lotrichtung $3^1/_3{}^0$, die größte Abweichung betrug 8° (einmal vorkommend).

[2]) Dr. A. Miethe: Die Photographie aus der Luft. Halle 1916.

gestochen scharf an, wenn der größte Durchmesser der Zerstreuungsfigur höchstens 0,05 mm beträgt; als noch leidlich scharf sind Bilder zu bezeichnen, bei welchen diese Größe 0,1 mm nicht überschreitet. Unter Berücksichtigung dieser Angaben kann für ein Entzerrungsgerät für den praktischen Gebrauch die Einhaltung der Scharfabbildungsbedingungen als ausreichend erachtet werden, wenn der größte Durchmesser der Zerstreuungsfigur den Betrag von $^1/_{15}$ mm = 0,067 mm nicht überschreitet.

Um die Eignung eines Entzerrungsgerätes für die Praxis zu beurteilen, sind außer den bereits besprochenen Gesichtspunkten noch verschiedene Erwägungen wirtschaftlicher Art von ausschlaggebender Bedeutung. Es genügt nicht, wenn ein Gerät die technischen Möglichkeiten an die Hand gibt, Entzerrungen durchzuführen, sondern die ganze Konstruktion muß so durchgebildet sein, daß erstens die Bedienung in nicht ermüdender Körperhaltung und durch angelerntes, nicht wissenschaftlich geschultes Personal möglich ist, und zweitens, daß möglichst viele der einzuhaltenden Bedingungen automatisch eingehalten werden, damit nicht durch zeitraubendes Einstellen verschiedener Elemente die Wirtschaftlichkeit der Arbeit gemindert wird. Die automatische Einhaltung aller Bedingungen für richtige Perspektive und Scharfbildung[1]) derart, daß nur noch zwei Organe zu betätigen bleiben, nämlich eines für die Neigung und ein zweites für die Maßstabänderung, erfordert einen sehr komplizierten Mechanismus, so daß der Apparat sehr teuer werden würde. Wesentlich vereinfacht wird die konstruktive Aufgabe, wenn die Scharfabbildungsbedingungen durch eine besondere Einstellung zu erfüllen sind. Die Einstellung der Bildschärfe ist außer durch Rechnung auch durch den unmittelbaren Anblick möglich, sie erfordert daher nur einige Übung, jedoch keine Kenntnis der optisch-geometrischen Zusammenhänge und keine zeitraubende Bestimmung von Einstellgrößen durch Tabellen oder ähnliches. Bei der Durchbildung der Konstruktion ist ferner darauf zu achten, daß für die Auflage der als Entzerrungsgrundlage dienenden Karte (bzw. Punktnetz) genügend Raum vorhanden ist, daß dieselbe leicht verdreht und verschoben werden kann, daß sie mit einer Hand in ihrer jeweiligen Lage festgehalten werden kann, damit die andere Hand zur Bedienung des Gerätes frei ist. Bei früheren Konstruktionen war besonders auf diese praktische Forderung wenig oder keine Rücksicht genommen worden, und die Erfahrungen, die beim Konsortium Luftbild-Stereographik-München gelegentlich der Durchführung großer zusammenhängender Entzerrungsarbeiten gemacht wurden, haben gelehrt, daß gerade von diesen scheinbaren Kleinigkeiten der wirtschaftliche Erfolg der Entzerrungsarbeit in großem Maße abhängt. Durch ausgedehnte Zeitstudien konnte der Verfasser feststellen, daß bei dem Arbeiten an einem Entzerrungsgerät Jäger-Liesegang mindestens $^1/_3$ der Arbeitszeit dadurch nutzlos verloren ging, daß die Einpassung in ermüdender, gezwungener Körperhaltung auszuführen war, daß der Operateur oft mit seinem Kopf in den Strahlenkegel kam und dadurch das Bild abblendete, daß bei der Vornahme einer Einstellungskorrektur die Kartenunterlage rutschte und die alte Lage erst wieder mühsam gefunden werden mußte, daß im entscheidenden Moment die Bogenlampe ausging und ähnliche Mißlichkeiten mehr.

Faßt man alle im vorstehenden besprochenen Gesichtspunkte noch einmal kurz zusammen, so ergibt sich, daß man an ein Entzerrungsgerät für den praktischen Gebrauch folgende Forderungen zu stellen hat: Neigungsbereich bis zu 10^0 Nadirdistanz der optischen Achse der Aufnahme, Maßstabsbereich vom $^2/_3$fachen bis zum 2fachen des Bildmaßstabes, Lagegenauigkeit der Entzerrung 0,2 mm, Einhaltung der Bildschärfe

[1]) Näheres darüber siehe unter „Theoretische Grundlagen“, S. 336.

bis auf $^1/_{15}$ mm größten Durchmesser der Zerstreuungsfigur, automatische Einhaltung möglichst aller geometrischen und optischen Bedingungen, wobei zur Vereinfachung des Mechanismus die Scharfabbildung von der Automatisierung ausgenommen bleiben kann, Rücksichtnahme auf bequeme Handhabung und genügenden Arbeitsplatz.

Unter Berücksichtigung aller dieser Forderungen hat nach Vorschlägen des Verfassers das Konsortium Luftbild-Stereographik ein neues Entzerrungsgerät gebaut und darauf den patentamtlichen Schutz erworben. Dieses Gerät soll im folgenden näherbeschrieben werden.

Theoretische Grundlagen.

Zur Ausführung einer Entzerrung durch optische Transformation mit Hilfe einer Linse[1]) ist es notwendig, Bildebene und Kartenebene in perspektive Lage zu bringen. Das kann im allgemeinen auf einfach unendlich viele Arten geschehen, denn man kann zwei Ebenen, welche irgendwie in perspektive Lage zueinander gebracht sind, noch um ihre Schnittgerade, die Achse der Perspektivität, beliebig gegeneinander drehen, ohne dadurch die perspektive Lage zu zerstören (vgl. Fig. 1).

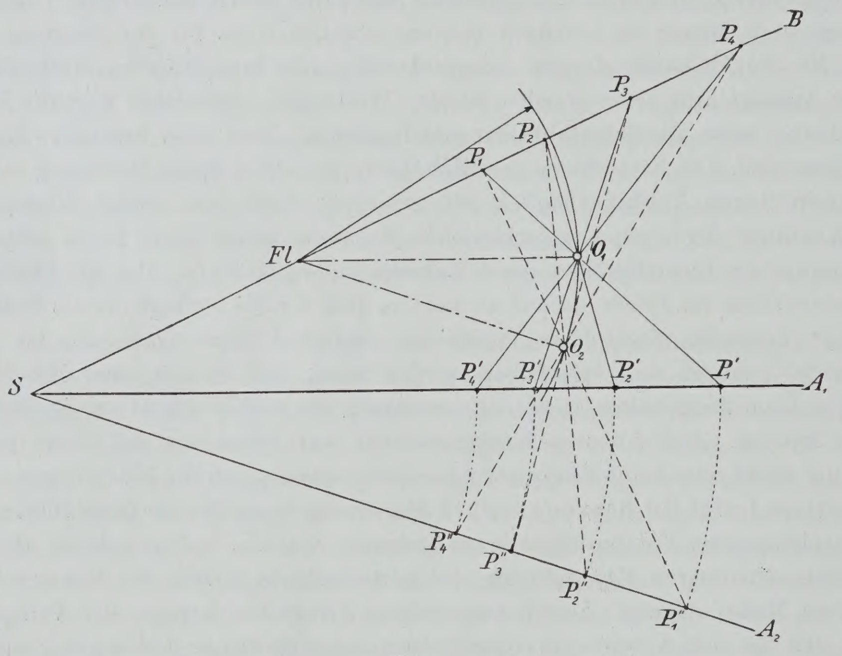


Fig. 1.

Bei einer Drehung der Kartenebene um S von A_1 nach A_2 ist das perspektive Zentrum auf einem Kreis um die Fluchtlinie Fl von O_1 nach O_2 gewandert. Daß die Bahn des perspektiven Zentrums ein Kreis ist, erkennt man leicht aus folgenden Beziehungen:

$$\frac{Fl\,O_1}{S\,P_1'} = \frac{Fl\,P_1}{S\,P_1}$$

und

$$\frac{Fl\,O_2}{S\,P_1''} = \frac{Fl\,P_1}{S\,P_1};$$

[1]) Im folgenden wird stets, wenn nicht ausdrücklich anders bemerkt, das Projektionsobjektiv als unendlich dünne Linse mit einem Hauptpunkt — dem optischen Mittelpunkt — und einer Hauptebene — schlechtweg der Linsenebene — angenommen.

nun ist aber

$$SP_1' = SP_1'',$$

da nur eine Drehung der Kartenebene um S erfolgte; mithin ist für jeden Drehwinkel $A_1 \hat{S} A_2$:

$$Fl\, O_1 = Fl\, O_2,$$

also die Bahn des perspektiven Zentrums ein Kreis um Fl.

Bei der optischen perspektiven Transformation wird nun aus diesen unendlich vielen Möglichkeiten der perspektiven Lage eine einzige durch die Bedingung bestimmt, daß beide Ebenen durch eine Linse von gegebener Brennweite f scharf aufeinander abgebildet werden sollen. Wenn dies der Fall sein soll, so muß, wie von Scheimpflug nachgewiesen wurde, die Linsenebene O durch S gehen und von der Fluchtlinie Fl den Abstand f haben (siehe Fig. 2).

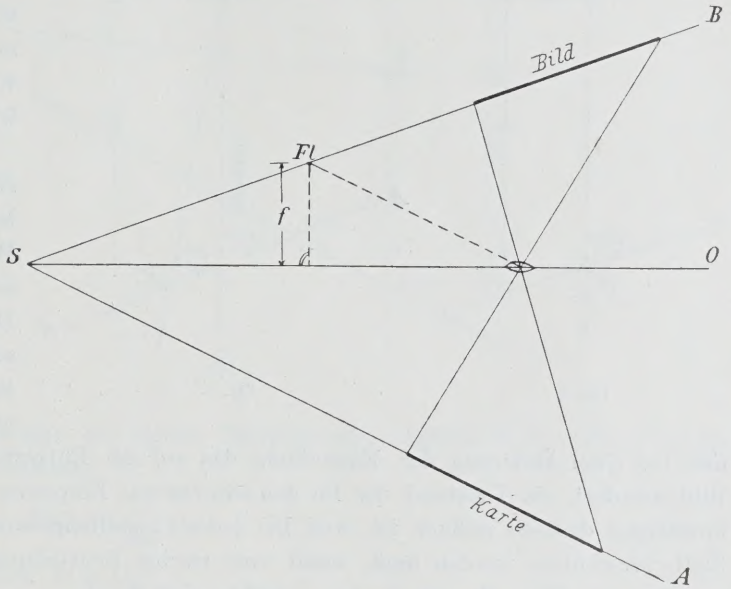


Fig. 2.

Durch die Wahl einer bestimmten Brennweite für die Projektionslinse ist also die perspektive Zuordnung von Bild- und Entzerrungsebene eindeutig bestimmt. Die bei dieser Zuordnung einzuhaltenden Bedingungen wurden von O. v. Gruber in einer Abhandlung über „Die perspektiven und optischen Verhältnisse bei der Entzerrung von Fliegerbildern“ [1]) untersucht und formuliert. v. Gruber nimmt als Bezugsachse für seine Einstellgrößen den Strahl an, welcher den Hauptpunkt des zu entzerrenden Bildes mit dem Linsenmittelpunkt verbindet. Die Zuordnung von Bild-, Linsen- und Entzerrungsebene erfordert die Einstellung von 5 Größen, nämlich die 3 Winkel, welche die 3 Ebenen mit der Bezugsachse bilden, und die 2 Strecken, welche durch die 3 Ebenen auf der Bezugsachse abgeschnitten werden (s. f. S. Fig. 3). BB ist die Bildebene, B' der Hauptpunkt des Bildes, OO die Linsenebene und AA die Entzerrungsebene. A' ist das Bild des Hauptpunktes B' in der Entzerrungsebene. $B'A'$ ist die vorerwähnte Bezugsachse. Die 5 Einstellgrößen sind α', β', γ', c' und d'.

Es ist ohne weiteres einzusehen, daß es nicht notwendig ist, bei Veränderung der 5 Einstellgrößen die Richtung der Bezugsgeraden $A'B'$ festzuhalten. Die Mehrzahl der bisher konstruierten Entzerrungsgeräte hält vielmehr die Richtung der Bildebene (Ica-Gerät) oder der Linsenebene (Scheimpflug, Finsterwalder, Jäger-Liesegang, Becker) fest. Das bedeutet, daß dann die Bezugsachse $A'B'$ um den Winkel $(90^0 - \gamma')$ bzw. $(90^0 - \beta')$ gedreht werden muß oder, mechanisch gesprochen, der Hauptpunkt B' und der Linsenmittelpunkt O müssen gegenseitig quer zur fest-

[1]) *Diese Zeitschr.* **42.** *S. 161. 1922.*

gehaltenen Richtung verschoben werden. Fig. 4 erläutert diese Verhältnisse für den Fall, daß die Linsenebene festgehalten ist.

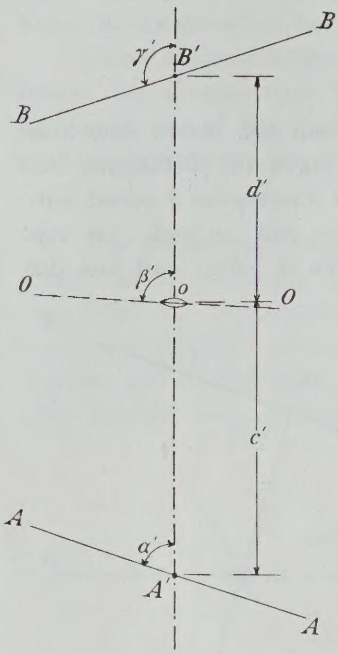


Fig. 3.

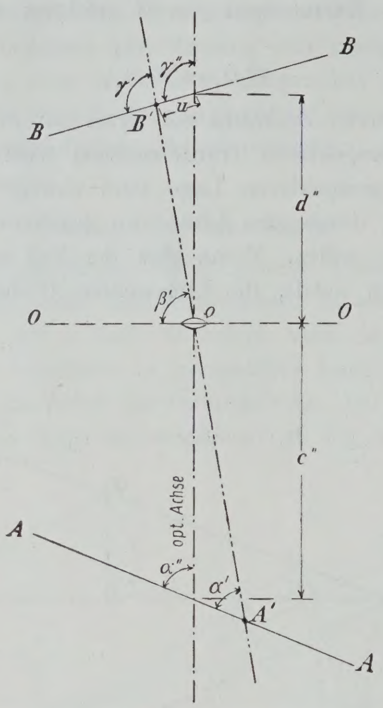


Fig. 4.

In diesem Falle wird die optische Achse als Bezugsachse dienen. Die Einstellgrößen sind in diesem Falle α'', γ'', c'' und d'', die im wesentlichen dieselbe Bedeutung haben wie die ursprünglichen Größen α', γ', c' und d' und ferner die Verschiebungsgröße u, welche an Stelle des nunmehr festgehaltenen Drehwinkels der Linsenebene tritt.

Als Nachteil der Einführung von Verschiebungsgrößen an Stelle von Winkeländerungen muß bezeichnet werden, daß die Dimensionen des Entzerrungsgerätes quer zur Projektionsrichtung naturgemäß wachsen müssen und daß bei einer Änderung der Einstellung das auf die Entzerrungsebene AA projizierte Bild wandert, ein Umstand der für das schrittweise Einpassen auf vorhandene Kartenunterlagen deshalb mißlich ist, weil bei jeder Einstellungsänderung das ganze Kartenblatt verschoben werden muß, somit eine stetige Beurteilung des Einflusses der vorgenommenen Einstellungsänderungen nicht möglich ist.

Die Berechnung der Einstellgrößen α', β', γ', c' und d' aus den als bekannt angenommenen Daten Aufnahmebrennweite F, Brennweite der Entzerrungslinse f, Flughöhe h, Kartenmaßstab M und Nadirdistanz der optischen Achse bei der Aufnahme ν' geschieht nach v. Gruber aus folgenden Formeln:

1. Berechne aus den gegebenen Größen folgende Hilfsgrößen:

$$n = \frac{M \cdot h}{F}; \quad \sin \nu_A = \frac{f}{F} \sin \nu'; \quad \sin \nu_B = \frac{f}{n \cdot F} \sin \nu',$$

$$n' = \frac{\cos \nu_A}{\cos \nu_B}.$$

2. Aus diesen Hilfsgrößen leiten sich die 5 Einstellgrößen wie folgt ab:

$$\operatorname{tg} \beta' = \frac{1 + \dfrac{\cos \nu'}{n}}{1 - \dfrac{\cos \nu'}{n'}} \operatorname{tg} \nu_A,$$

$$\alpha' = \beta' - \nu_A; \quad \gamma' = \beta' + \nu_B,$$

$$d' = \left(1 + \frac{\cos \nu'}{n}\right) \frac{f}{\sin \beta'}; \quad c' = d' \frac{n}{\cos \nu'}. \qquad 1)$$

Die früher erwähnte Bedingung, daß der Mittelpunkt der Projektionslinse und das perspektive Zentrum der ursprünglichen Aufnahme von der Fluchtlinie gleichen Abstand haben müssen, findet sich bei v. Gruber nicht ausgesprochen, ist aber, wie im folgenden bewiesen werden soll, in den obigen Formeln implizite enthalten (vgl. Fig. 5).

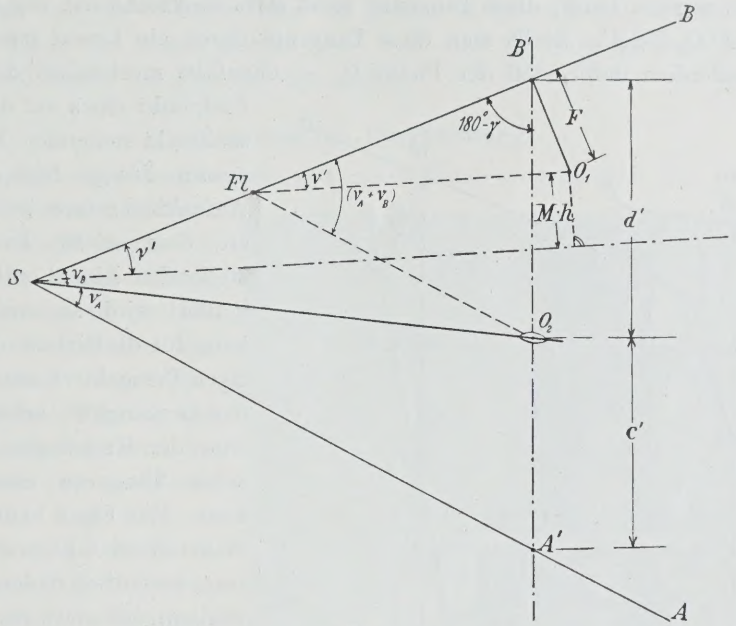


Fig. 5.

Es sei O_1 das Zentrum der ersten Perspektivität, mithin $\overline{B' O_1} = F$. Aus der Figur ist unmittelbar abzulesen:

$$\overline{Fl\, O_1} = \frac{F}{\sin \nu'};$$

ferner ist aus dem Dreieck $Fl\, B'\, O_2$:

$$\overline{Fl\, O_2} = d' \frac{\sin \gamma'}{\sin(\nu_A + \nu_B)}.$$

Setzt man in diesen Ausdruck die Werte aus Formelgruppe 1) ein, so ergibt sich

$$\overline{Fl\, O_2} = \frac{n + \cos \nu'}{n} \frac{f}{\sin \beta'} \frac{\sin(\beta' + \nu_B)}{\sin(\nu_A + \nu_B)}$$

und nach Elimination der Hilfsgrößen

$$\overline{Fl\, O_2} = \frac{F}{\sin \nu'}.$$

Es ist also tatsächlich

$$\overline{Fl\, O_2} = \overline{Fl\, O_1}.$$

Die Leitidee der Konstruktion.

Wie im vorigen Abschnitt bewiesen wurde, muß bei jeder Entzerrung das zu dem Bild gehörige perspektive Zentrum O_1 (Fig. 5) auf einem Kreise vom Radius $\frac{F}{\sin \nu'}$ liegen, dessen Mittelpunkt auf der Fluchtlinie liegt und dessen Ebene auf der Neigungsachse senkrecht steht. Sorgt man durch eine geeignete Wahl der Brennweite des Entzerrungsobjektivs dafür, daß der Abstand d' vom Bildhauptpunkt und

Entzerrungsobjektiv innerhalb des praktischen Vergrößerungsbereiches von $^2/_3$fach bis 2fach von derselben Größenordnung wie die Aufnahmebrennweite F wird, dann wird, da ν' höchstens 10^0 beträgt, der Radius dieses Kreises gegenüber der Entfernung $O_1 O_2$ sehr groß, so daß der Kreisbogen $O_1 O_2$ mit guter Annäherung durch seine Tangente in O_2 ersetzt werden kann; diese Tangente steht stets senkrecht auf der Entzerrungsebene, weil $Fl\,O_2 \parallel SA'$. Stellt man diese Tangente durch ein Lineal mechanisch dar und sorgt außerdem dafür, daß der Punkt O_1 — ebenfalls mechanisch dargestellt als Endpunkt eines auf der Bildebene senkrecht stehenden Hebels $B'O_1$, dessen Länge $B'O_1$ gleich der Aufnahmebrennweite F ist — stets an dem diese Tangente darstellenden Lineal entlang gleitend geführt wird, so wird die Bedingung für die Einhaltung einer richtigen Perspektive automatisch mit der Genauigkeit erfüllt, mit welcher der Kreisbogen $O_1 O_2$ durch seine Tangente ersetzt werden kann. Wie Fig. 6 in übertriebenem Maßstab zeigt, kann diese Annäherung wesentlich dadurch verbessert werden, daß statt des Punktes O_1 ein auf derselben Geraden gelegener Punkt O_1' auf der Tangente TT geführt wird, welcher von B' einen um die Korrekturgröße ΔF größeren Abstand als O_1 hat. Dieser Abstand $B'O_1' = F + \Delta F = F_e$ werde als „Ersatzbrennweite“ bezeichnet, denn er kommt an Stelle der wirklichen Aufnahmebrennweite F am Gerät zur Einstellung; er hängt außer von F innerhalb des vorgeschriebenen Neigungsbereiches wesentlich nur von dem Vergrößerungsverhältnis $\frac{\text{Kartenmaßstab}}{\text{Bildmaßstab}} = n$ ab; Näheres darüber findet sich in dem Abschnitt „Fehlertheorie“. Durch die beschriebene Anordnung, daß nämlich der Endpunkt O_1' des „Brennweitenarmes“ $B'O_1'$ auf der durch ein Lineal mechanisch dargestellten Tangente TT geführt wird, ist erreicht, daß bei jeder beliebigen Neigung der Entzerrungsebene AA die durch die Gesetze der Perspektive bestimmte zugehörige Neigung der Bildebene BB automatisch eingestellt wird. Um außerdem noch eine scharfe Abbildung der Bildebene auf die Entzerrungsebene durch das Objektiv des Entzerrungsgerätes O_2 zu ermöglichen, muß nach dem sogenannten Scheimpflugschen Prinzip die Objektivebene von O_2 durch die Schnittgerade von Bild- und Entzerrungsebene hindurchgehen (vgl. Fig. 2). Diese Bedingung kann durch den in Fig. 7 schematisch dargestellten Hebelmechanismus in einfacher Weise mit einer für alle praktischen Fälle ausreichenden Genauigkeit mechanisch erfüllt werden. Mit den Drehachsen B', O_2 und A' von Bild-, Linsen- und Entzerrungsebene sind je 3 gleichlange Hebel H_1, H_2, H_3 fest verbunden, welche jeweils auf der zugehörigen Ebene senkrecht stehen. Die Hebel H_1 und H_2 tragen an ihren Endpunkten W_1

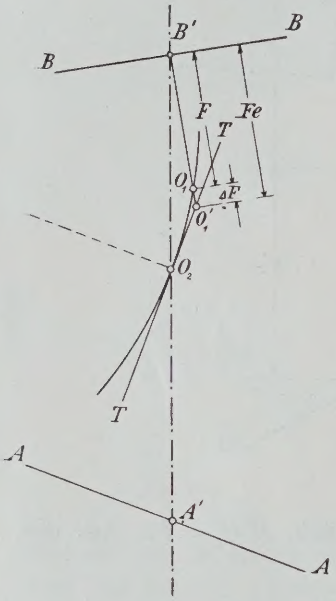


Fig. 6.

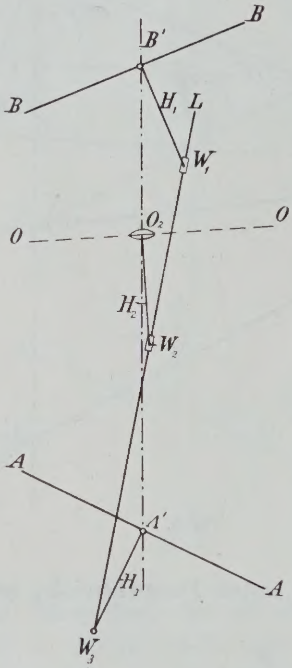


Fig. 7.

und W_2 Gleitstücke, welche an einem Lineal L entlang geführt werden, welches seinerseits um den Endpunkt W_3 des Hebels H_3 drehbar ist. Die jeweilige Lage des Lineals L ist durch die vorher beschriebene mechanische perspektive Zuordnung von Bild- und Entzerrungsebene eindeutig bestimmt; durch die Führung von W_2 auf L wird nun die Objektivebene OO jeweils so gedreht, daß sie mit genügender Annäherung durch die Schnittgerade von Bild- und Entzerrungsebene hindurchgeht (über den Grad dieser Annäherung vgl. später).

Konstruktive Durchbildung.

Fig. 8 zeigt eine Gesamtansicht des neuen Entzerrungsgerätes. Ein stabiles Rohrgestell trägt die einzelnen Teile. Gemäß den Ausführungen im ersten Abschnitt sind die Hauptteile im Gegensatz zu der bisher üblichen horizontalen Anordnung vertikal angeordnet. Die als neigbarer Tisch *k* ausgebildete Entzerrungsebene hat auf diese Weise eine annähernd horizontale Lage und kann so als bequeme Auflage für das als Entzerrungsgrundlage dienende Kartenblatt bzw. das lichtempfindliche Papier dienen. Die Neigung des Tisches *k* kann mittels des Handrades *s* beliebig eingestellt und an einem Index *t* abgelesen werden. Senkrecht über der Neigungsachse des Tisches *k* befindet sich — ebenfalls neigbar — das Objektiv *l*. Seine Brennweite beträgt 150 mm, sein Abstand von der Neigungsachse des Tisches *k* kann mittels des Handrades *m* geregelt und am Index *v* abgelesen werden. Über dem Objektiv befindet sich — ebenfalls neigbar — der Kantungsrahmen *i*, welcher den Plattenrahmen *d* aufnimmt, in welchem die zu entzerrende Platte mittels einer Klemmvorrichtung *g* so befestigt wird, daß ihr Hauptpunkt in die Drehungsachse des Kantungsrahmens fällt und daß die Neigungsachse des Kantungsrahmens in die Schichtebene der Platte fällt. Das Maß der Verkantung wird an einem Index abgelesen. Der Abstand des Kantungsrahmens von der Entzerrungsebene *k* wird mittels des Handrades *v* eingestellt und von dem Index *u* angezeigt. Unmittelbar

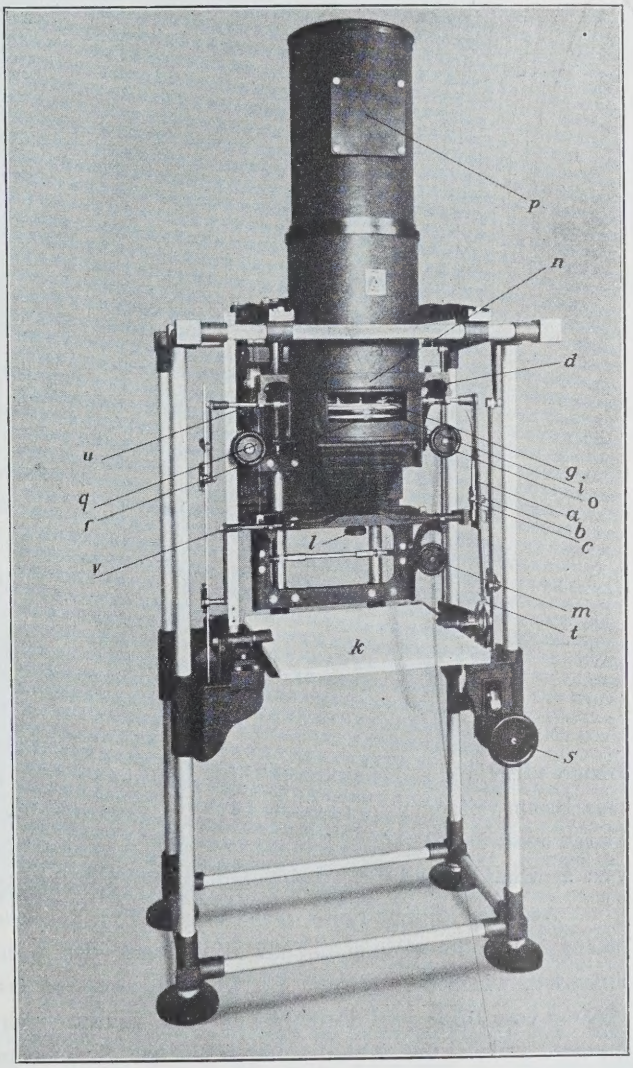


Fig. 8.

über dem Plattenrahmen in dem Kondensorträger *n* befindet sich ein Triple-Kondensor und darüber in dem lichtdichten, mit Lüftungsvorrichtung versehenen Lampengehäuse *p* die Lichtquelle, eine leistungsfähige Niederspannungsprojektionslampe. Dieselbe kann in einfacher Weise zentriert werden, ihr Abstand vom Kondensor kann mittels des Handrades *q* geregelt werden.

Auf der rechten Seite des Gerätes befindet sich der nach seiner Theorie in Fig. 6 erläuterte Hebelmechanismus, welcher die Neigung des Plattenrahmens der Neigung der Entzerrungsebene *k* automatisch zuordnet. Seine konstruktive Ausbildung ist in Fig. 9 schematisch verdeutlicht und in Fig. 10 im Bild dargestellt.

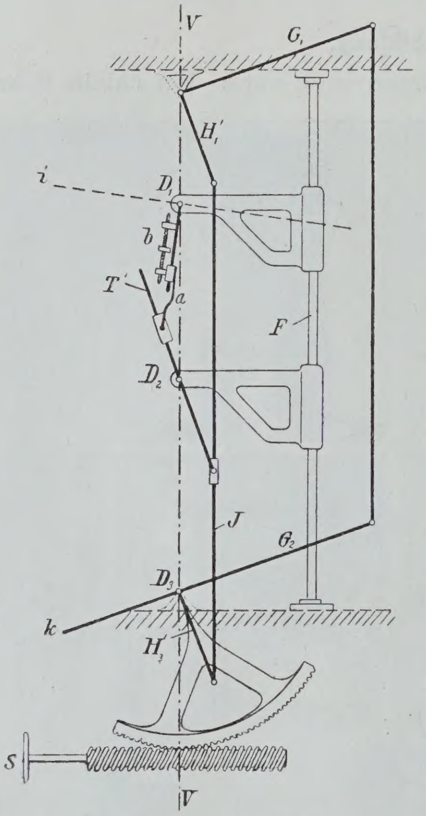


Fig. 9.

Mittels des Handrades *S* wird der Entzerrungsebene *k* durch Schneckenrad und Schnecke die gewünschte Neigung erteilt. Dadurch, daß die Hebelarme G_1 und G_2 sowie H_1' und H_3' paarweise parallel und gleich lang sind, wird erreicht, daß die vertikale Führungsstange *J* zu sich selbst parallel um ein der Neigung von *k* entsprechendes Maß verschoben wird. Die Drehachsen D_1 des Kantungsrahmens *i* und D_2 des Objektivs *l* sind in Konsolen gelagert, welche auf der Führung *F* verschiebbar sind; sie können so in beliebige Abstände von der Drehachse D_3 der Entzerrungsebene *k* gebracht werden. Um die Objektivachse D_2 dreht sich das Lineal T', welches mit seinem einen Endpunkt auf der Führungsstange *J* gleitet. Die Hebelarme H_2' und H_3' sind gleich lang, so daß T' stets parallel zu H_3' ist und somit auf *k* senkrecht steht; das Lineal T' stellt daher die mechanische Verkörperung der Tangente *T* in Fig. 6 vor. Auf T' (Fig. 9) gleitet der Endpunkt des Brennweitenarmes *a*, dessen Länge mittels der Einstellvorrichtung *b* gleich der Ersatzbrennweite F_e gemacht wird. Der Brennweitenarm *a* steht in D_1 senkrecht auf der Plattenebene *i* (vgl. dazu Fig. 6). Durch eine Parallelverschiebung der Führungsstange *J* infolge einer Neigungsänderung von *k* wird daher auch die Neigung von *i* automatisch eingestellt.

Auf der linken Seite des Gerätes (Fig. 8) befindet sich der in Fig. 7 näher erläuterte Hebelmechanismus zur Einhaltung des Scheimpflugschen Prinzips. Durch ihn wird, wie schon gesagt, die Objektivebene so gedreht, daß sie durch die Schnittgerade von Bild- und Entzerrungsebene hindurchgeht. Damit sind alle Winkelbedingungen, welche die drei drehbaren Ebenen einzuhalten haben, automatisch erfüllt. Die Einstellung eines bestimmten Maßstabes sowie der Schärfe des Bildes in der Entzerrungsebene werden nach dem Augenschein durch Betätigung der Handräder *m* und *v* vorgenommen; sie erfordern keine Kenntnis der komplizierten perspektiven Zusammenhänge wie die Winkelbedingungen und können von jedem mit der Handhabung eines Vergrößerungsapparates vertrauten Photographen ohne weiteres vorgenommen werden. Das neue Entzerrungsgerät ist somit ein halbautomatisches Gerät, welches die beim

gewöhnlichen Vergrößerungsprozeß üblichen Einstellungen dem Augenmaß überläßt, die verwickelten Neigungsbeziehungen der 3 Ebenen jedoch automatisch regelt.

Der vorliegende Typ ist gebaut für ein Plattenformat von 13×18 cm² und erlaubt eine lineare Vergrößerung bis auf das 2fache und eine Verkleinerung bis auf das $^2/_3$fache des Bildes. Der Neigungsbereich der Entzerrungsebene geht bis auf 15°.

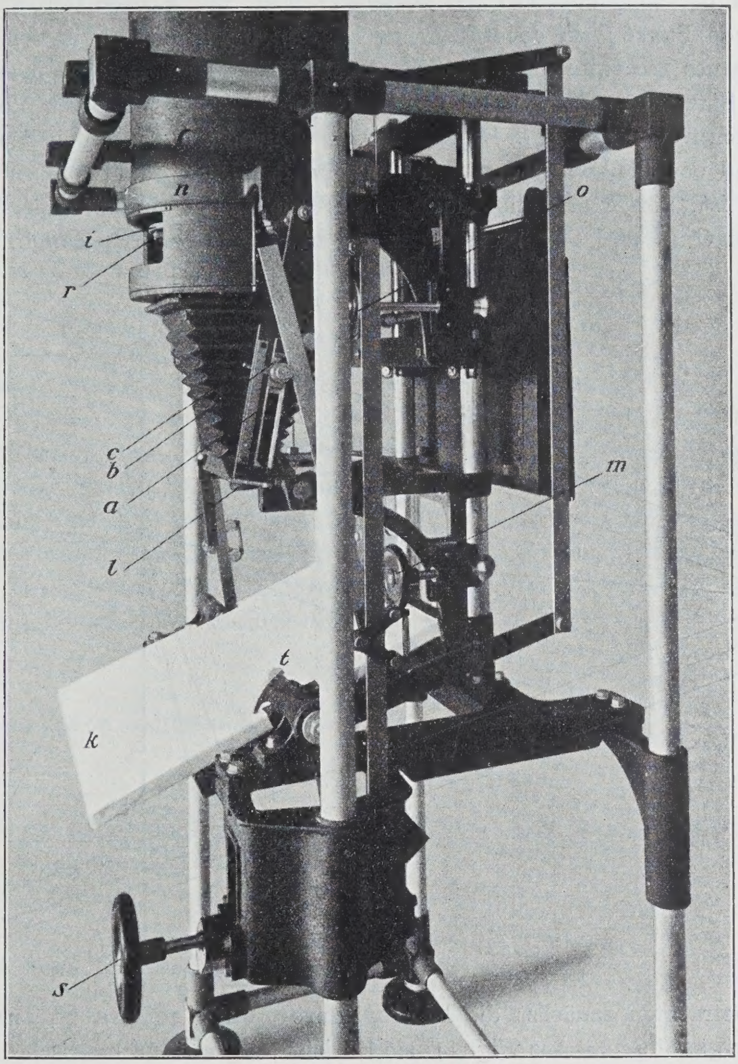


Fig. 10.

Fehlertheorie.

Es soll zunächst untersucht werden, welche Fehler in der Punktlage der Entzerrung entstehen, wenn das Bild in seiner Ebene senkrecht zu seiner Neigungsachse verschoben wird. (Eine Verschiebung in Richtung dieser Achse führt keine Veränderung, sondern nur eine gleichförmige Verschiebung der Entzerrung herbei.) Fig. 11 veranschaulicht in einem Normalschnitt durch die drei Drehachsen die geometrischen Verhältnisse (s. S. 344).

Unter Berücksichtigung der in Fig. 11 angewandten Bezeichnungen soll also untersucht werden, welche Veränderung die Entzerrung erleidet, wenn unter Beibe-

haltung der Einstellungselemente α', β', γ', c' und d' der Abstand X des Bildhauptpunktes B' von der Schnittgeraden S um dX wächst.

Wir betrachten ein Bild von quadratischer Form; die zu den Neigungsachsen parallelen Quadratseiten haben von B' den Abstand r. Der Bildpunkt P habe in bezug auf ein in der Bildebene gelegenes rechtwinkeliges Koordinatensystem, dessen X-Achse in der Neigungsachse der Bildebene liegt, die Koordinaten x und y. Der entsprechende Punkt P' in der Entzerrung habe in bezug auf ein in der Entzerrungsebene gelegenes rechtwinkeliges Koordinatensystem, dessen X-Achse in der Neigungsachse der Entzerrungsebene liegt, die Koordinaten x' und y', deren Vorzeichen mit dem Vorzeichen von x und y übereinstimmen sollen. In Fig. 11 bedeutet ferner Y den Abstand des Punktes A', welcher das Bild des Hauptpunktes B' in der Entzerrungsebene ist, von S, Fl die Fluchtlinie, V die Verschwindungslinie, es sind also die Geraden $O_2\,Fl$ und $O_2\,V$ beziehungsweise zu $A'S$ und $B'S$ parallel.

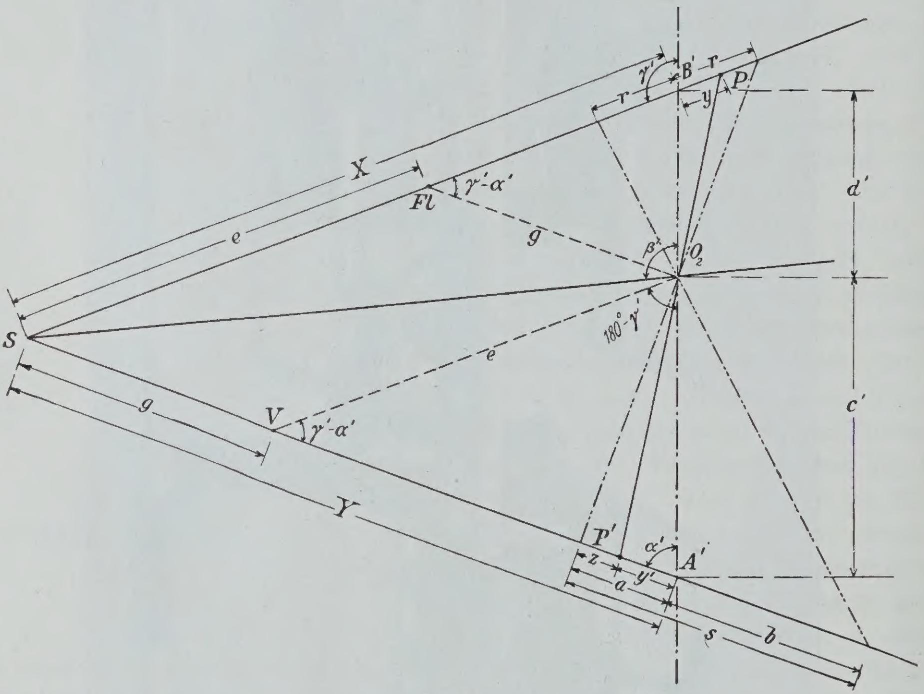


Fig. 11.

Wir betrachten zunächst die Fehlerkomponente senkrecht zur Richtung der Neigungsachsen. Aus Fig. 11 sind leicht folgende geometrische Beziehungen abzulesen:

a) $\dfrac{e}{c'} = \dfrac{\sin\alpha'}{\sin(\gamma' - \alpha')}$, hieraus $e = c'\dfrac{\sin\alpha'}{\sin(\gamma' - \alpha')}$,

b) $\dfrac{g}{d'} = \dfrac{\sin(2R - \gamma')}{(\sin(\gamma' - \alpha')}$, hieraus $g = d'\dfrac{\sin(2R - \gamma')}{\sin(\gamma' - \alpha')}$,

c) $\dfrac{X}{e} = \dfrac{c' + d'}{c'}$, hieraus $X = e\dfrac{c' + d'}{c'} = (c' + d')\dfrac{\sin\alpha'}{\sin(\gamma' - \alpha')}$,

$$X - e = d'\frac{\sin\alpha'}{\sin(\gamma' - \alpha')},$$

d) $\dfrac{X}{e} = \dfrac{Y}{Y - g}$, hieraus $Y = \dfrac{X}{X - e}\,g = (c' + d')\dfrac{\sin\gamma'}{\sin(\gamma' - \alpha')}$, $\Bigg\}$ 2)

e) $\dfrac{X+r}{Y-a}=\dfrac{e}{Y-g-a}$, hieraus $a=\dfrac{e\,r\,g}{(X-e)(X-e+r)}$,

f) $\dfrac{X-r}{Y-b}=\dfrac{e}{Y-g-b}$, hieraus $b=-\dfrac{e\,r\,g}{(X-e)(X-e-r)}$,

g) $s=a-b=\dfrac{2\,e\,r\,g}{(X-e)^2-r^2}$,

h) $\dfrac{X+y}{Y-y'}=\dfrac{e}{Y-g-y'}$, hieraus $y'=\dfrac{e\,g\,y}{(X-e)(X-e+y)}$.

Durch die Formelgruppe 2) sind alle für die Fehlerberechnung notwendigen Größen in den gegebenen Größen ausdrückbar.

Der dem Bildpunkt P zugeordnete Punkt P' in der Entzerrungsebene habe vom linken Bildrand der Entzerrung den Abstand $z=a-y'$. Er teilt die Längserstreckung der Entzerrung s in einem ganz bestimmten Verhältnis

$$\mu=\frac{a-y'}{-b+y'}=\frac{z}{s-z}. \qquad 3)$$

Verschiebt man nun das Bild in seiner Ebene um den Betrag dX, so ändert sich nicht nur s um ds, sondern auch das charakteristische Verhältnis μ um $d\mu$. Denken wir uns nun durch eine reine Maßstabkorrektur der Entzerrung die ursprüngliche Strecke s wieder hergestellt, so wird infolge der Änderung von μ der Abstand z des Punktes P' vom linken Bildrand ein anderer sein, als vor der Verschiebung des Bildes um dX und wir definieren als den Fehler v' senkrecht zu der Richtung der Neigungsachsen den Zuwachs dz, den z erfährt, wenn s statt im Verhältnis μ im Verhältnis $(\mu+d\mu)$ geteilt wird. Aus Formel 3) ergibt sich

$$z=s\,\frac{\mu}{\mu+1}. \qquad 4)$$

Durch Differentiation ergibt sich

$$v'=dz=\frac{s}{(\mu+1)^2}\cdot d\mu. \qquad 5)$$

Diesen Ausdruck haben wir noch etwas umzuformen. Wir finden zunächst durch Einsetzen von 2) und 3)

$$\mu=\frac{r-y}{r+y}\cdot\frac{X-e-r}{X-e+r} \qquad 6)$$

und hieraus durch Differentiation

$$d\mu=\frac{r-y}{r+y}\cdot\frac{2\,r}{(X-e+r)^2}\,dX. \qquad 7)$$

Durch Einsetzen in 5) finden wir

$$v'=\frac{e\,g}{(X-e)^2\,r^2}\cdot\frac{r^2-y^2}{(X-e+y)^2}\,dX. \qquad 8)$$

Aus dieser Gleichung geht unmittelbar hervor, daß $v'=0$ wird, wenn $y=\pm r$ ist, d. h. am linken und rechten Bildrand. Um zu erkennen, für welchen y-Wert v' ein Maximum wird, differenzieren wir 8) nach y und erhalten:

$$\frac{v'}{dy}=-\frac{2\,e\,g\cdot dX}{(X-e)^2-r^2}\cdot\frac{y\,(X-e+y)^2+(r^2-y^2)(X-e+y)}{(X-e+y)^4}=0.$$

Das Argument des Extremwertes ergibt sich hieraus zu

$$y=-\frac{r^2}{X-e}. \qquad 9)$$

Setzen wir diesen Wert in 8) ein, so erhalten wir

$$v'_{\max} = \frac{e\,g\,r^2}{[(X-e)^2 - r^2]^2} \cdot dX. \qquad 10)$$

Wir wollen nun noch untersuchen, wo die durch den Wert $y = -\frac{r^2}{X-e}$ charakterisierte Stelle des größten Fehlers $v'_{\max}$ in der Entzerrung liegt. Zu diesem Zweck setzen wir den Wert für y aus Gleichung 9) in 2b) ein und erhalten

$$y' = -\frac{e\,g\,r^2}{(X-e)[(X-e)^2 - r^2]}. \qquad 11)$$

Hieraus erhalten wir weiter

$$a - y' = \frac{e\,r\,g}{(X-e)(X-e+r)} + \frac{e\,g\,r^2}{(X-e)[(X-e)^2 - r^2]} = \frac{e\,r\,g}{(X-e)^2 - r^2},$$

$$z = a - y' = \frac{e\,r\,g}{(X-e)^2 - r^2} = \frac{s}{2},$$

$$\mu = \frac{z}{s-z} = \frac{\frac{s}{2}}{\frac{s}{2}} = 1.$$

Die Stelle des größten Fehlers $v'_{\max}$ liegt also in der Mitte der Entzerrung.

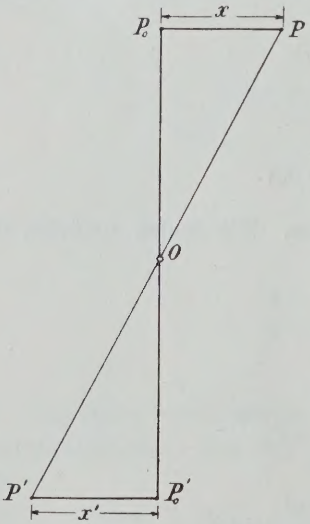


Fig. 12.

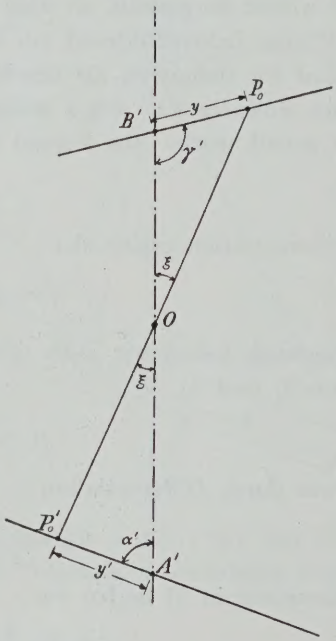


Fig. 13.

Wir haben nun noch die zu v' senkrechte Fehlerkomponente v'' in Richtung der Neigungsachsen zu untersuchen. Fig. 12 zeigt die geometrischen Verhältnisse in einer Schnittebene durch die Neigungsachse des Objektivs und den Bildpunkt P, Fig. 13 ist wie Fig. 11 ein Normalschnitt durch den Objektivmittelpunkt.

Der Punkt P mit der Bildabszisse x hat in der Entzerrung die Abszisse x'. Aus Fig. 12 ist abzulesen:

$$x' = x\frac{OP'}{OP} = x\frac{OP_0'}{OP_0}. \qquad 12)$$

Aus Fig. 13 ist abzulesen

$$OP_0' = y' \frac{\sin \alpha'}{\sin \xi},$$

hieraus

$$OP_0 = y \frac{\sin \gamma'}{\sin \xi},$$

durch Division

$$\frac{OP_0'}{OP} = \frac{y'}{y} \frac{\sin \alpha'}{\sin \gamma'}. \qquad 13)$$

Aus Gleichung 2b) und 2c) folgt ferner

$$\frac{\sin \alpha'}{\sin \gamma'} = \frac{X - e}{g}.$$

Setzt man diesen Wert und aus Gleichung 2h) den Wert für y' in Gleichung 13) ein, so erhält man

$$\frac{OP_0'}{OP_0} = \frac{e g}{(X - e)(X - e + y)} \cdot \frac{X - e}{g} = \frac{e}{X - e + y}. \qquad 14)$$

Durch Einsetzen von 14) in 12) erhält man dann

$$x' = \frac{e x}{X - e + y}. \qquad 15)$$

In dieser Gleichung ist x' mit den unabhängigen Koordinaten x und y in der Bildebene in projektive Beziehung gesetzt.

Analog der Definition des Fehlers v' senkrecht zur Richtung der Neigungsachsen definieren wir den Fehler v'' in Richtung der Neigungsachsen als den auf die senkrecht zur Richtung der Neigungsachsen gemessene Bildausdehnung s reduzierten Zuwachs, den x erfährt. Wenn sich X um dX ändert, also

$$v'' = dx' \frac{s}{s + ds} = - \frac{e x}{(X - e + y)^2} \left(1 - \frac{ds}{s}\right) dX. \qquad 16)$$

Das Korrektionsglied $\frac{ds}{s}$ ergibt sich aus Gleichung 2g) zu

$$\frac{ds}{s} = - \frac{2(X - e)}{(X - e)^2 - r^2} dX.$$

Durch Einsetzen dieses Wertes in Gleichung 16) erhalten wir

$$v'' = - \frac{e x dX}{(X - e + y)^2} \left(1 + \frac{2(X - e)}{(X - e)^2 - r^2} dX\right). \qquad 17)$$

v'' wird ein absolutes Maximum, wenn in 17) der Zähler seinen absolut größten und der Nenner seinen kleinsten Wert annimmt, d. i. für $x = \pm r$ und $y = -r$; also

$$v''_{\max} = \mp \frac{e r dX}{(X - e - r)^2} \left(1 + \frac{2(X - e)}{(X - 2)^2 - r^2} dX\right). \qquad 18)$$

Die Wirkung der Fehler v' und v'' ist in Fig. 14 veranschaulicht. Die ausgezogenen Linien stellen die perspektiv richtige Entzerrung eines Quadratnetzes dar. Die gestrichelten Linien zeigen in übertriebenem Maßstab die Abweichung der Netzlinien von der richtigen Lage infolge einer Verschiebung des Bildes aus seiner richtigen Lage. Man erkennt, daß beide Figuren durch eine Maßstabkorrektur nicht zur Deckung gebracht werden können, sondern daß die fehlerhafte Entzerrung im allgemeinen in jedem Punkt nach verschiedenen Richtungen verschiedene Maßstäbe besitzt.

Wie im Abschnitt „Die Leitidee der Konstruktion“ gezeigt wurde, ist die automatische Einstellung des Winkels β', welchen die Bildebene mit der die Neigungs-

achsen enthaltenden Ebene einschließt, mit einem Fehler $d\beta'$ behaftet, weil das perspektive Zentrum des Bildes nur angenähert auf dem Kreis um die Fluchtlinie geführt wird (vgl. Fig. 6). Es entsteht also eine fehlerhafte Entzerrung. Um die Fehler dieser Entzerrung der Berechnung zugänglich zu machen, denken wir uns (Fig. 15) das Bild ohne Änderung seiner Neigung in seiner Ebene so verschoben, daß sein perspektives Zentrum O_1 wieder in die richtige Lage kommt, also um den Betrag

$$dX = F\,d\gamma'. \tag{19}$$

In dieser Formel bedeutet F die Aufnahmebrennweite und $d\gamma'$ die Differenz zwischen dem theoretisch richtigen Winkel γ' und dem durch den Mechanismus eingestellten Winkel γ'', also

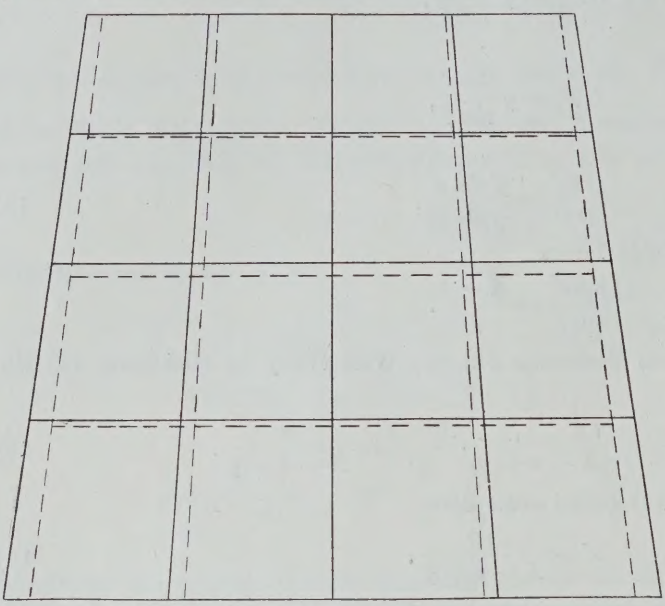


Fig. 14.

$$d\gamma' = \gamma' - \gamma''. \tag{20}$$

γ' ist als Einstellungselement bekannt bzw. nach den Formeln 1) errechenbar. γ'' berechnet sich aus folgender Beziehung (Fig. 16, vgl. auch Fig. 6):

$$\frac{d'}{F_e} = \frac{\sin(\gamma'' - \alpha')}{\sin(90^0 - \alpha')};$$

hieraus

$$\sin(\gamma'' - \alpha') = \frac{d'}{F_e} \cos\alpha'. \tag{21}$$

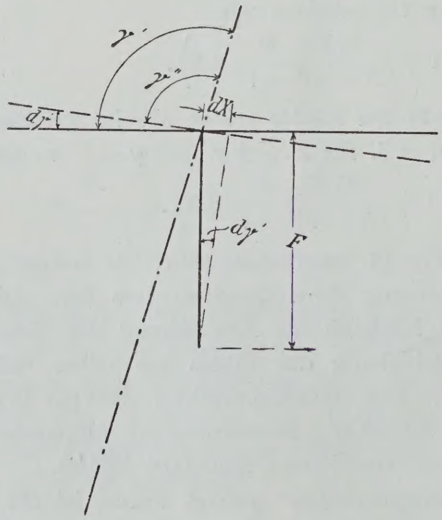


Fig. 15.

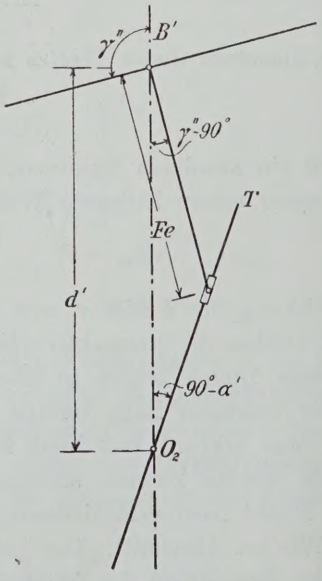


Fig. 16.

In dieser Form sind die Ersatzbrennweite F_e, ferner α' und d' als Einstellelemente bekannt, γ'' ist hieraus berechenbar. Durch Einsetzen des so gefundenen Wertes für γ'' in 20) ergibt sich $d\gamma'$, somit ist aus 19) die Verschiebung dX berechenbar, welche, in die Fehlerformeln 8) bzw. 10) und 17) bzw. 18) eingesetzt, die beiden Fehlerkomponenten v' und v'' ergibt.

Setzt man in Formel 21) γ' an Stelle von γ'', so ergibt sich folgende Beziehung zur Bestimmung der Ersatzbrennweite F_e aus den Einstellelementen:

$$F_e = d' \frac{\cos \alpha'}{\sin(\gamma' - \alpha')}. \qquad 22)$$

Wird so die errechnete Ersatzbrennweite am Gerät eingestellt, dann wird die Entzerrung streng richtig. Mit Hilfe von Formel 22) kann F_e für eine Serie von Fällen zahlenmäßig berechnet und in geeigneter Form graphisch dargestellt werden (siehe nächster Abschnitt), so daß für die praktische Ausführung der Entzerrung unter Zugrundelegung von Mittelwerten der Aufnahmebedingungen aus einem solchen Diagramm ein für die Einstellung am Gerät zweckmäßiger Näherungswert für F_e entnommen werden kann.

Es bleibt nun noch zu untersuchen, mit welcher Genauigkeit der in Fig. 7 beschriebene Mechanismus das Scheimpflugsche Prinzip tatsächlich einhält, d. h. mit welcher Genauigkeit die durch diesen Mechanismus gesteuerte Objektivebene durch die Schnittgerade von Bild- und Entzerrungsebene hindurchgeht.

Fig. 17 veranschaulicht die geometrischen Beziehungen in einem Normalschnitt. BB, OO und AA sind die Bild-, Objektiv- und Entzerrungsebene, mit welchen beziehungsweise die Hebel H_1, H_2 und H_3 starr verbunden sind, die alle drei die konstante Länge k haben. Ihre Endpunkte liegen auf dem Lineal L. Der durch den Mechanismus gegebene Winkel der Objektivebene gegen die Ebene der drei Neigungsachsen ist mit β'' bezeichnet.

Aus dem Dreieck $W_1' W_3'' W_3'$, dessen Seite $W_1' W_3''$ zu L parallel ist, folgt

$$\operatorname{tg} \xi = \frac{k(\cos\alpha' - \cos\gamma')}{c' + d' + k(\sin\alpha' - \sin\gamma')}, \qquad 23)$$

hieraus ist ξ berechenbar aus den Einstellelementen c', d', α', γ' und der mechanischen Konstante k. Ferner ist nach dem Sinussatz

$$\frac{d' + x}{\sin(\xi + \gamma' - 90^0)} = \frac{k}{\sin \xi};$$

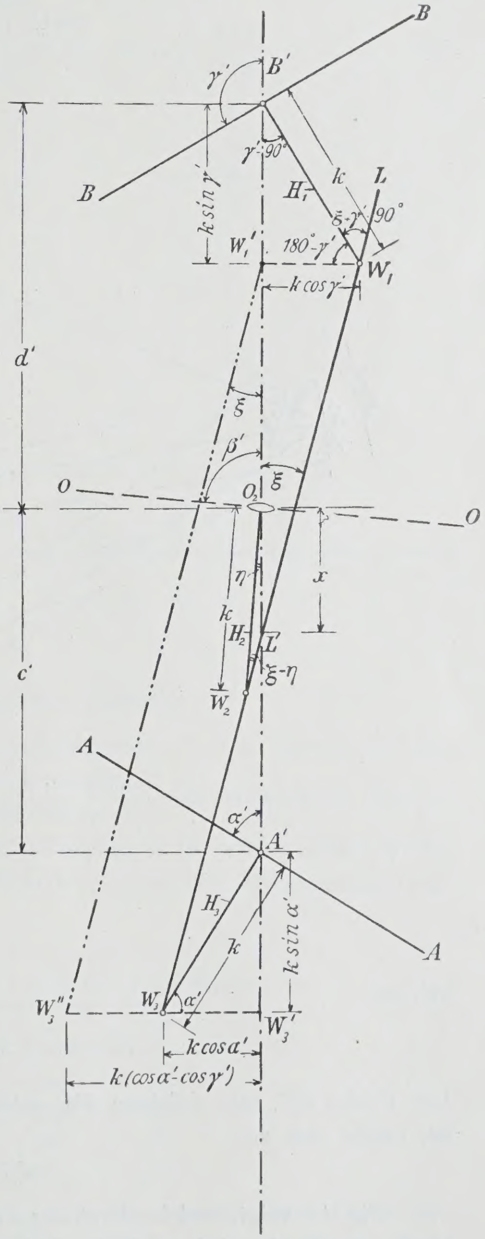


Fig. 17.

hieraus

$$x = -k\,\frac{\cos(\xi + \gamma')}{\sin \xi} - d'; \tag{24}$$

ferner ist in dem Dreieck $O_2\,W_2\,L'$

$$\frac{\sin(\xi - \eta)}{x} = \frac{\sin \xi}{k},$$

hieraus

$$\sin(\xi - \eta) = \frac{x}{k} \sin \xi$$

und da $\eta = 90^0 - \beta''$

$$\cos(\xi + \beta'') = -\frac{x}{k} \sin \xi;$$

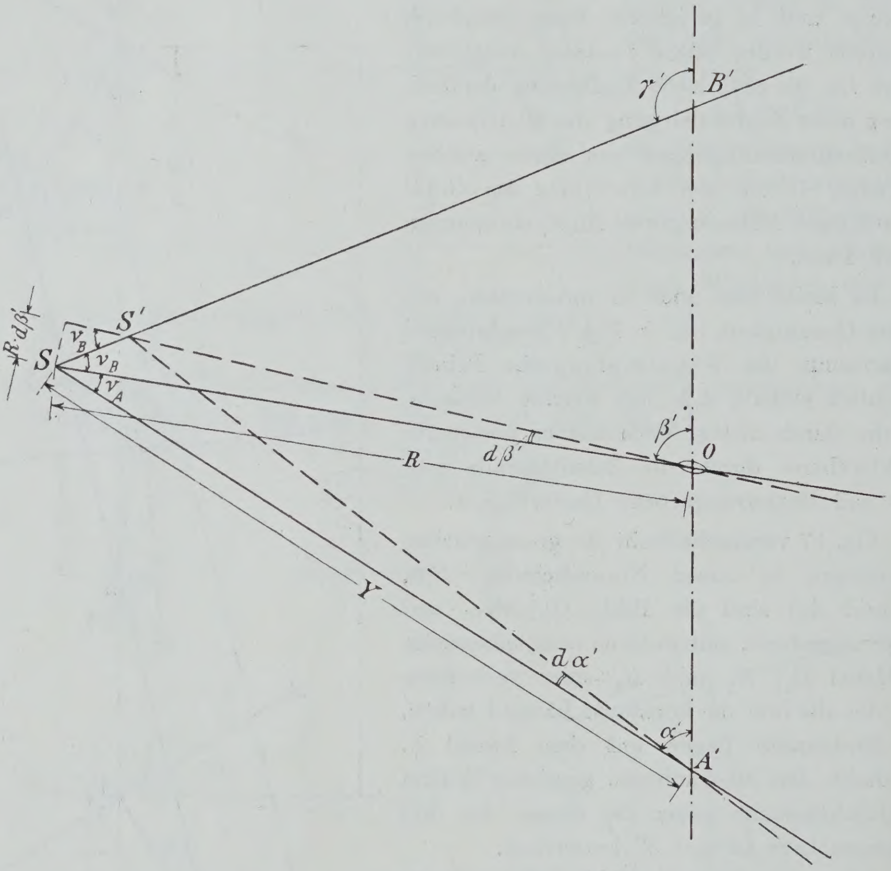


Fig. 18.

hieraus

$$\beta'' = -\xi + \arccos\left(-\frac{x}{k} \sin \xi\right). \tag{25}$$

Der Fehler $d\beta'$, mit welchem die automatische Einstellung der Objektivebene behaftet ist, ergibt sich zu

$$d\beta' = \beta' - \beta''. \tag{26}$$

Fig. 18 zeigt, welche Drehung $d\alpha'$ der scharf abgebildeten Ebene (Entzerrungsebene) ein Fehler $d\beta'$ zur Folge hat. Aus Fig. 18 ist abzulesen:

$$SS' = \frac{R\,d\beta'}{\sin\nu_B}, \qquad 27)$$

$$R = Y\frac{\sin\alpha'}{\sin\beta'}. \qquad 28)$$

Durch Einsetzen von 28) in 27) ergibt sich

$$SS' = \frac{Y}{\sin\nu_B}\cdot\frac{\sin\alpha'}{\sin\beta'}\,d\beta'. \qquad 29)$$

Ferner ist

$$d\alpha' = \sin(\nu_A + \nu_B + d\alpha')\frac{SS'}{Y},$$

und da $d\alpha'$ sehr klein ist, nach Einsetzen von 29)

$$d\alpha' = \frac{\sin(\nu_A+\nu_B)}{\sin\nu_B}\cdot\frac{\sin\alpha'}{\sin\beta'}\,d\beta' = \left(\frac{\sin\nu_A}{\sin\nu_B}\cos\nu_B + \cos\nu_A\right)\frac{\sin\alpha'}{\sin\beta'}\,d\beta'. \qquad 30)$$

Nach Formelgruppe 1) ist $\frac{\sin\nu_A}{\sin\nu_B} = n$; da ferner ν_A und ν_B kleine Winkel sind, so können ihre Kosinus genähert gleich 1 gesetzt werden, ebenso der Quotient $\frac{\sin\alpha'}{\sin\beta'}$, da beide Winkel sehr nahe an 90^0 liegen. Damit wird

$$d\alpha' = (n+1)\,d\beta'. \qquad 31)$$

Der Durchmesser z des durch den Fehler $d\alpha'$ bedingten größten Zerstreuungskreises bestimmt sich angenähert aus der Beziehung (Fig. 19)

$$z \sim \frac{d}{c'}\,n\,r\cdot d\alpha', \qquad 32)$$

wobei d den wirksamen Objektivdurchmesser bedeutet.

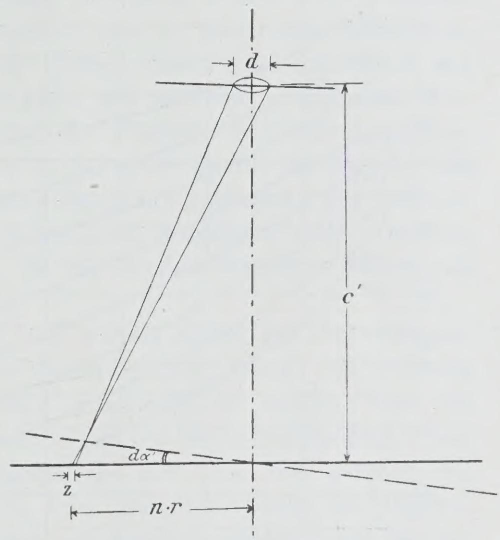


Fig. 19.

Zahlenmäßige Auswertung der Formeln.

Berechnet man für eine bestimmte Aufnahmebrennweite F nach Formel 22) für verschiedene Vergrößerungsverhältnisse n $\left(\text{d. i. } \frac{\text{Kartenmaßstab}}{\text{Bildmaßstab}}\right)$ die zugehörigen Ersatzbrennweiten F_e, so zeigt sich, daß F_e bei gleichbleibendem n für verschiedene Werte von ν' als konstant angesehen werden kann. Tabelle 1 gibt eine Zusammenstellung der Werte von F_e für $F = 200$ mm.

Tabelle 1.
Werte der Ersatzbrennweite F_e in mm für $F = 200$ mm.

ν'	3^0	6^0	8^0	10^0
$n = 2$	202	201	201	201
$n = 1{,}5$	206	205	205	205
$n = 1$	217	217	217	217
$n = {}^2/_3$	242	241	241	241

In Fig. 20 ist die Beziehung zwischen F_e und n für verschiedene Werte der Aufnahmebrennweite F graphisch dargestellt. Würde man bei jeder einzelnen Ent-

zerrung die zu dem jeweiligen n gehörige, aus dem Diagramm abzulesende Ersatzbrennweite am Brennweitenarm einstellen, so wäre die automatische Einstellung des Gerätes mit den Gesetzen der Perspektive streng in Übereinstimmung. Es wäre jedoch ein für die Praxis zu zeitraubendes und unwirtschaftliches Verfahren, wenn man bei jeder Aufnahme eine neue Ermittlung von F_e und eine neue Einstellung vornehmen müßte. Es soll daher untersucht werden, welche Fehler in der Entzerrung entstehen, wenn statt der richtigen nur eine genähert richtige Ersatzbrennweite am Gerät eingestellt wird, mit welcher dann alle Aufnahmen einer Serie ohne weitere Nachstellung entzerrt werden. Der Flieger, welcher einen Bildflug für Entzerrungszwecke macht, wird bestrebt sein, für alle Aufnahmen eine bestimmte Flughöhe einzuhalten. Infolge der verschiedenen Luftströmungen und der ungenauen Angabe der Höhenmesser wird

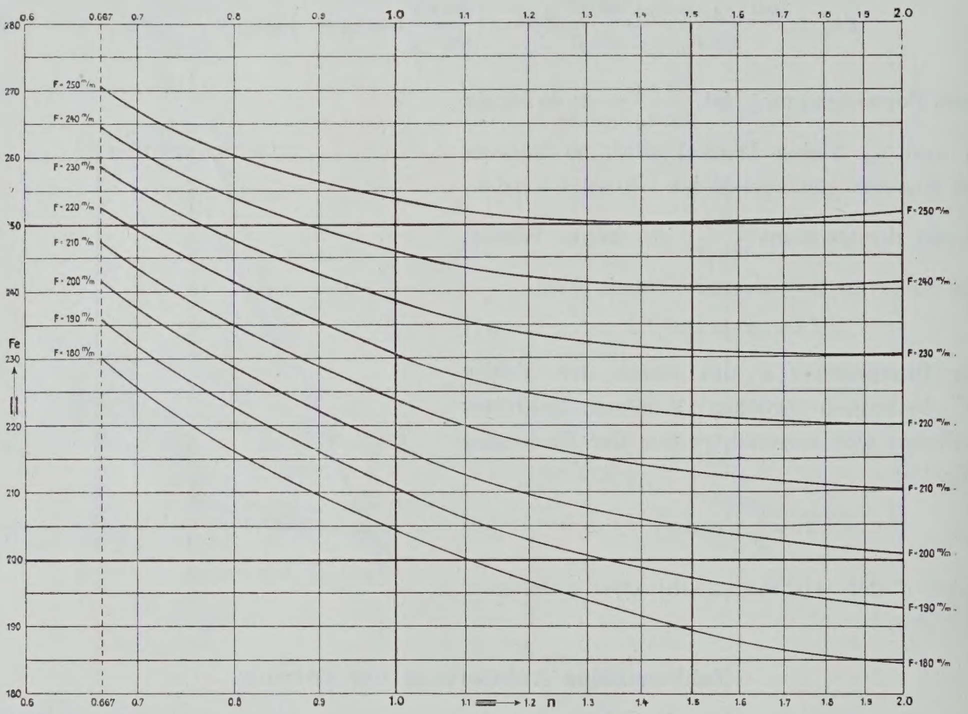


Fig. 20.

dies zwar niemals genau möglich sein, sicher jedoch läßt sich die gewünschte Flughöhe mit einer Genauigkeit von $20^0/_0$ einhalten. Es entspricht dies z. B. einem Spielraum von 1600—2400 m bei 2000 m Sollhöhe. Wenn die Flughöhe nur auf $20^0/_0$ genau bekannt ist, so ist auch die Vergrößerungszahl n auf $20^0/_0$ genau bekannt, somit kann ein Mittelwert von F_e aus dem Diagramm Fig. 20 ohne weiteres entnommen werden. Wir wollen nun an einem Beispiel untersuchen, wie groß für verschiedene Neigungen die Fehler in der Entzerrung werden, wenn F_e mit einem sogar um $20^0/_0$ falschen n bestimmt und eingestellt wurde.

Es handle sich um eine Aufnahme aus 2000 m Höhe mit einer Kammer von 200 mm Brennweite, welche auf dem Maßstab 1 : 10000 entzerrt werden soll; n ist in diesem Falle gleich 1. Wir bestimmen nun zunächst aus dem Diagramm Fig. 20 F_e mit einem um $20^0/_0$ zu großen Argument, also für $n = 1{,}2$ entsprechend einer tatsächlichen Flughöhe von 2400 m; es ergibt sich $F = 209$ (statt $F = 217$). Nun wurden zunächst nach Formelgruppe 1) die Einstellungselemente für $\nu = 3^0$, 6^0, 8^0 und 10^0

gerechnet, sodann mittels Formel 21) und 22) die Verschiebungsgrößen dX berechnet und dann mit den so gefundenen Werten von dX die Fehlerformeln aufgelöst. Die Ergebnisse der Rechnung sind in Tabelle 2 zusammengestellt. Es wurde dabei $r = 100$ mm und $d = 33$ mm gesetzt.

Tabelle 2.

ν' °	$d\gamma'$ ′	dX mm	v'_{max} mm	v''_{max} mm	$d\beta'$ ′	$d\alpha'$ ′	z mm
3	— 10,55	— 0,6	0,00	∓ 0,02	— 0,15	— 0,30	0,00
6	— 20,50	— 1,2	0,00	∓ 0,07	— 1,03	— 2,06	0,01
8	— 27,25	— 1,6	— 0,01	∓ 0,13	— 2,47	— 4,94	0,02
10	— 34,65	— 2,0	— 0,02	∓ 0,22	— 4,82	— 9,64	0,03

Aus vorstehender Tabelle ergibt sich als wichtigste Folgerung, daß tatsächlich die Lagefehler in der Entzerrung, welche von einer mit einem selbst um $20\,^0/_0$ falschen n bestimmten Ersatzbrennweite herrühren, innerhalb der zu fordernden Genauigkeit bleiben. Man braucht also in der Praxis für alle Bilder eines Fluges nur einmal mit dem mittleren n die Ersatzbrennweite zu bestimmen und am Gerät einzustellen, ohne befürchten zu müssen infolge der Schwankungen der Flughöhe merkbare Lagefehler in der Entzerrung zu bekommen. Weiterhin zeigt die letzte Spalte der Tabelle, daß der theoretisch nur näherungsweise richtige Mechanismus zur Einhaltung des Scheimpflugschen Prinzips (Fig. 7) innerhalb der vorkommenden Neigungen keine merkliche Unschärfe der Entzerrung herbeiführen kann, da die Zerstreuungskreise kleiner als $^1/_{20}$ mm bleiben.

Zum Schluß sei noch darauf hingewiesen, wie wichtig es ist, den Plattenrahmen mit einer Justiervorrichtung auszustatten. Wie Tabelle 2 zeigt, fangen bei größeren Neigungen die Lagefehler in der Entzerrung eben an merklich zu werden, wenn die Verschiebung dX des Hauptpunktes aus seiner Soll-Lage von der Größenordnung 2 mm wird. Nun sind aber Abweichungen der Hauptpunktlage von 5 mm und darüber sehr leicht möglich, wenn die Platte ohne Justierung ihres Hauptpunktes in den Plattenrahmen eingelegt wird, wie dies bei vielen bisher gebräuchlichen Geräten der Fall ist. Die Lagefehler in der Entzerrung erreichen dann unzulässige Werte und können nur durch Einführung eines weiteren Freiheitsgrades der Einstellung beseitigt werden.

Der neue Wildsche Theodolit mit Präzisionsdistanzmesser.

Nebst Bemerkungen zum neuen Zeissischen Theodolit I und seinen Anwendungen.

Nach Prospekten und den Instrumenten.

Von

E. Hammer in Stuttgart.

Der Aufsatz von Schermerhorn über den neuen Zeissschen Theodolit und seine Vergleichung mit den bisher vorhandenen Konstruktionen (*diese Zeitschr. 45. S. 16 — 35. 1925*) und die Nachträge dazu von v. Gruber und Schermerhorn (ebenda *S. 54/55*) legen nahe, hier auch des Urhebers jenes neuen Instruments zu gedenken[1]: es ist der früher im Zeisswerk tätig gewesene Schweizer Ingenieur H. Wild, der jetzt in Heerbrugg (St. Gallen, Schweiz) eine eigene Werkstatt für geodätische Instrumente

[1]) Es geschieht dies in den Veröffentlichungen, die Sch. S. 35 anführt und soweit sie mir zugänglich waren, nur in dem Aufsatz von Eggert; an anderer Stelle von C. Müller (Poppelsdorf) im Kalender für Landmessungswesen, Jahrg. 1925, „Neues auf dem Gebiete des Landmessungswesens“, 19. Mitt. S. 3.

errichtet hat und u. a. auch den neuen kleinen Theodolit, wesentlich von derselben Einrichtung wie der Zeissische, daselbst anfertigt und ihm eine Ergänzung durch einen „Präzisionsdistanzmesser“ beigefügt hat.

Vorausschicken möchte ich einige Bemerkungen zu dem eingangs genannten Aufsatz und seinen Nachträgen. Es ist ja leicht verständlich, daß der oder die Konstrukteure des neuen Instruments, die die Entwicklung des Theodolits (— sollten wir nicht endlich bei dieser Form statt des Theodoliten stehen bleiben? —) seit 100 Jahren nach „Genauigkeit der Herstellung“ und damit nach Steigerung der Genauigkeitsleistung anerkennen, aber „grundsätzliche Neuerungen im Aufbau“ vermissen, nur die Lichtseiten des Instruments sehen (— deren genug vorhanden sind —) und grundsätzlich jede Änderung gegen bisher auch für einen Fortschritt halten. Aber einige Bemerkungen dazu werden ja hoffentlich der Sache nur nützen.

Ich unterlasse es, Bedenken allgemeiner Art, wie die gegen Glas als Material der Teilkreise, gegen die Dauer der Spiegelbeläge und des Dampfdichtbleibens des ganzen Oberteils des Instruments weiter auszuführen; vielleicht widerlegt die bis jetzt fehlende Erfahrung alle diese Bedenken, vorläufig möchte ich aber dem Schlußsatz von Sch. S. 34 (in 8. D) zustimmen. Um zunächst bei dieser Verwendung des neuen Instruments auf Forschungsreisen zu bleiben, so kann ja die genaue Ablesung am Lagekreis für den gewöhnlichen terrestrisch-geodätischen Gebrauch des Reisenden, die eine später kaum zu verwertende Genauigkeit geben würde, durch Schätzung ersetzt werden; etwas unbequemer ist schon, daß man für den sog. „astronomischen“ Gebrauch (direkte Bestimmung der Polhöhe, der Ortszeit, eines Azimuts), wo auch kleinere Zenitdistanzen in Betracht kommen, nicht nur zum Okularprisma greifen muß (das auch bei den schönen kleinen, gedrängt gebauten und sehr leichten Universalen mit exzentrischem Fernrohr, die seit Jahrzehnten für die besondern Zwecke des Forschungsreisenden bei uns hergestellt werden, unentbehrlich ist), sondern sogar zu dem so viel unbequemern Objektivprisma. Am Höhenkreis des neuen Instruments ist, wie Sch. mit Recht bemerkt, die 30″-Libelle zu grob; aber es wäre ja wohl ohne weiteres etwa eine 15″-Libelle dafür einzusetzen. Aus alledem läßt sich dem neuen Instrument überhaupt kein Vorwurf („Konstruktionsfehler“) machen, da es ausdrücklich nicht als Universal, sondern als Theodolit mit Höhenkreis bezeichnet wird, so daß, so wenig wie bei den meisten bisherigen Instrumenten, die geringere Genauigkeit einer Höhenrichtung im Vergleich mit einer Lagerichtung, gar nicht zu beanstanden ist. Für manche Zwecke (s. u.) wäre sogar ein Instrument der neuen Art ohne Höhenkreis willkommen; der Wunsch nach einem solchen ist kürzlich in den „Allg. Verm.-Nachrichten“ aus Markscheiderkreisen ausgesprochen worden.

Die optische Zusammenlegung der zwei diametralen Kreisablesungsstellen und die automatische Mittelbildung, sowohl für den Lagekreis wie für den Höhenkreis, möchte ich nicht für einen so großen Fortschritt in der Bequemlichkeit der Ablesung im Vergleich mit den seitherigen Einrichtungen halten wie die Erbauer des Instruments, angesichts der heutigen Genauigkeit der Kreiszentrierungen, die so geringe Unterschiede der Unterablesung der zwei Indizes geben, daß eine „Unbequemlichkeit“ der Mittelbildung in der Tat nicht vorhanden ist, vielmehr die zwei getrennten Ablesungen willkommen sind, weil sie sofort ein etwaiges Versehen einer Ablesung offenbaren. Ein Beobachter, der in der alten Mittelbildung heute noch eine Quelle von Versehen zu fürchten hat, macht sicher bei der einen, bereits gemittelten Ablesung am neuen Instrument ebenso leicht oder leichter ein 10′-Versehen. Aber ich will auch nicht als Gegner der neuen Ableseart auftreten, weil sie offenbar eine große Rolle spielt bei der großen Genauigkeitssteigerung: ein Lagekreis von $7^1/_2$ cm Durchmesser gibt in einer vollständigen Beobachtung einer Lagerichtung den m. F. $\pm 2''$, der Höhenkreis mit einem noch um $^1/_4$ kleinern Durchmesser ($5^1/_2$ cm und trotz der 30″-Libelle) eine Zenitdistanz mit dem m. F. $\pm 5''$; dies sind auf den ersten Blick kaum glaubliche Zahlen[1]).

[1]) Die Angaben 2‵‵ und 5‵‵ von v. Gruber, die die m. F. auf $^1/_3$ der oben angegebenen bringen würden, sind selbstverständlich nur durch Versehen entstanden; es muß 2″ und 5″ (a. T.) heißen. Ich möchte hier nicht verschweigen, daß hier in Stuttgart mit dem Instrument Zeiss I Nr. 16033 die genannten Genauigkeiten auch bei den feinsten Zielpunkten (die Art der Zielpunkte spielt eine so große Rolle für die Genauigkeit der Messungen, daß sie stets mit angedeutet werden sollte) von 4 verschiedenen Beobachtern nicht ganz erreicht worden sind. Ich möchte als Durchschnittszahlen dieser Messungen hier vorläufig nur angeben:

m. F. einer einmal vollständig beobachteten Lagerichtung $\pm 3''$,

m. F. einer aus zwei Lagen des Fernrohrs bestimmten Zenitdistanz $\pm 7''$.

Was nun die andern Verwendungen des neuen Theodolits angeht, so wird vor allem kein Landmesser die Auffassung von v. Gruber unterschreiben können, daß sich viel Zeit und Geld sparen lasse durch Vermeidung der „überflüssigen“ Ausgleichung. Die Kleintriangulation und die Zugmessung sind zum größten Teil Einschaltungs- und Anschlußmessungen und keine Messung dieser Art nebst ihrer Berechnung, wie auch keine völlig selbständige Messung, kann heute als durchgeführt gelten, solange genügende Nachweise über die erlangten m. F. der Ergebnisse fehlen. In den Ergebnissen der Einschaltungs- und Anschlußmessung stecken nicht nur die Fehler der Neumessung, sondern auch die (oft genug nicht kleinern, oder gar größern) Fehler der „festen Anschlußpunkte“. „Überschüssige“ Messungen, die dann eine Ausgleichung verlangen, werden nur bei ganz untergeordneten Messungen unterlassen werden können; richtig ist aber, daß durch rationelle Anordnung der Ausgleichungsmessungen noch viel Zeit erspart werden kann. Vielleicht liegt der Auffassung des Herrn v. Gruber die an sich richtige Ansicht zugrunde, daß je kleiner die Widersprüche (nicht nur in den Messungen selbst, sondern auch die durch die „Anschlußmessungen“ verursachten) sind, es desto gleichgültiger ist, wie (z. B. mit welchen Gewichtsannahmen) sie verteilt werden; aber die Ausgleichung z. B. aus „aller Kleintriangulation“ verbannen zu wollen, widerspricht den Forderungen der heutigen Feldmeß„kunst“. Ein „exakt messendes“ Instrument kann vielleicht leichter als ein anderes die in den Anschlußpunkten steckenden Fehler von den der Neumessung anhaftenden trennen; aber dies ist im allgemeinen nicht einmal so wichtig als der Nachweis, daß beide Fehlerquellen den neubestimmten Punkten die erforderliche (weder zu weit getriebene noch zu geringe) Genauigkeit lassen. Und dieser Nachweis kann nur durch „Ausgleichung“ geführt werden, welcher Art sie sein mag und ob, wie bei einzelnen durch Einschneiden eingeschalteten trigonometrischen Neupunkten die m. F. der Koordinaten dieser Punkte einzeln berechnet werden, oder ob man sich bei Einschaltung neuer „bedingt“ auszugleichender Dreiecksketten mit dem Nachweis begnügt, daß der zulässige m. F. eines gemessenen Winkels nach den Stations-Messungsergebnissen nicht wesentlich vergrößert wird durch die Anschlußzwangsbedingungen, oder ob man sich endlich bei einer Zugmessung mit dem m. F. eines Polygonwinkels und dem linearen Gesamtanschlußfehler (höchstens getrennt nach Längs- und Querverfehlung) begnügt. Dieser Nachweis kann auch durch das genauest messende Instrument nie ersetzt werden. Und ist es ferner nicht ebenfalls eine „sehr wesentliche Frage der Wirtschaftlichkeit“, ob es nicht rationeller ist, z. B. bei bestimmten Zugmessungen ein ebenfalls nur kleines leichtes Instrument zu verwenden, für das ich in gegebener Zeit nur 500 M. abzuschreiben habe und das mir in zwei Messungen des Winkels ebenfalls sicher die notwendige Genauigkeit liefert, statt des neuen Theodolits, der freilich schon in einer Messung eine weit über die erforderliche hinausgehende Genauigkeit gibt, aber doppelt so viel kostet; weniger als eine Messung kann ich mit dem teuren feinen Instrument nicht machen, ja es wird hoffentlich noch genug Landmesser und Markscheider der alten Schule geben, die aus Vorsicht gegen grobe Fehler (Versehen), vor denen kein Mensch völlig sicher ist, mindestens zwei Messungen jedes Winkels ausführen. Und ihnen leistet also der neue Theodolit im angegebenen Fall nicht mehr als ein älterer halb so teurer. Wichtig für besondere Fälle der Zugmessung ist die Anzeige von v. Gruber, daß der neue Theodolit auch mit Signalen geliefert wird, die mit dem Instrument gegenseitig vertauschbar sind (Freiberger und Casseler Aufstellung): bei Zugmessung in alten Stadtteilen und bei Markscheiderzügen sind oft sehr kurze Zugseiten nicht zu vermeiden, so daß die Zentrierung durch das Schnurlot und die gewöhnlichen gröberen Signale nicht genügen; die angedeutete mechanische Feinzentrierung (Vertauschung von Instrument und Zielzeichen, z. B. leicht bis auf 0,2 mm sicher) ist hier jeder optischen Zentrierung überlegen und sichert günstige Fehlerfortpflanzung im Zug auch bei kurzen Seiten. Zum Ab- und Aufloten der Polygonpunkte (auf Sohle oder First in der Grube) genügt dann das Schnurlot vollständig, weil es nicht darauf ankommt, ob die endgültig vermarkten P. P. um einige Millimeter abweichen von der bei der Winkelmessung als Stand- und Zielpunkten benutzten, während bei kurzen Seiten bei der Messung für genaueste Übereinstimmung von Standpunkten und Zielpunkten zu sorgen ist, wenn der Zug als ganzes nicht unbrauchbar werden soll.

Daß der neue Theodolit, bei seiner großen Genauigkeit und im Gebirgsland auch wegen seines geringen Gewichts, einen Fortschritt für die Kleintriangulation bedeutet, liegt auf der Hand und wird wohl von keiner Seite bestritten. Das Stativ dürfte etwas stabiler sein.

Und nun zu einer letzten Anwendung des neuen Instruments, nämlich der in der optischen Entfernungsmessung und Tachymetrie. In der Zeissischen Ausführung kann ich weder für T_I noch für T_{II} einen wesentlichen Fortschritt im Vergleich mit bekannten Konstruktionen sehen. Dagegen hat Wild in der Schweiz mit dem neuen

Theodolit einen besondern „Präzisions-Distanzmesser“ verbunden, für den dort ein bedeutendes Interesse besteht, seit in die Katastermessungs-Vorschriften neben die Kleinmessung mit Rechtwinkelinstrument und Latten oder Band die Messung nach Polarkoordinaten T_I (Fein-Tachymetrie) aufgenommen worden ist.

Auf den Wildschen Theodolit braucht nach der ausführlichen Beschreibung des wesentlich damit übereinstimmenden Zeissischen durch Schermerhorn nicht näher eingegangen zu werden; es genügt die Beigabe, den Entfernungsmesser kurz zu erläutern. Leider ist, wie hier gleich angefügt sein mag, das Wildsche Instrument noch teurer als das Zeissische: der Theodolit rund 1400 M. (gegen rund 1000 M. bei Zeiss), zusammen mit der Ergänzung durch den „Präzisionsdistanzmesser“ rund 1900 M.

Der Entfernungsmesser ist in ein auf das Objektivende des Fernrohrs aufzusteckendes zylindrisches Rohrstück eingeschlossen, Fig. 2, womit das ganze Instrument den Anblick der Fig. 1 bietet. Der konstante mikrometrische Winkel der zwei Zielungen (rund $^1/_{100}$) wird dabei hergestellt durch zwei symmetrisch vor das Fernrohrobjektiv zu liegen kommende achromatische Glaskeile, vor die nochmals zwei dicke planparallele, um eine senkrechte Achse drehbare Glasplatten gesetzt sind, Fig. 3 und 4.

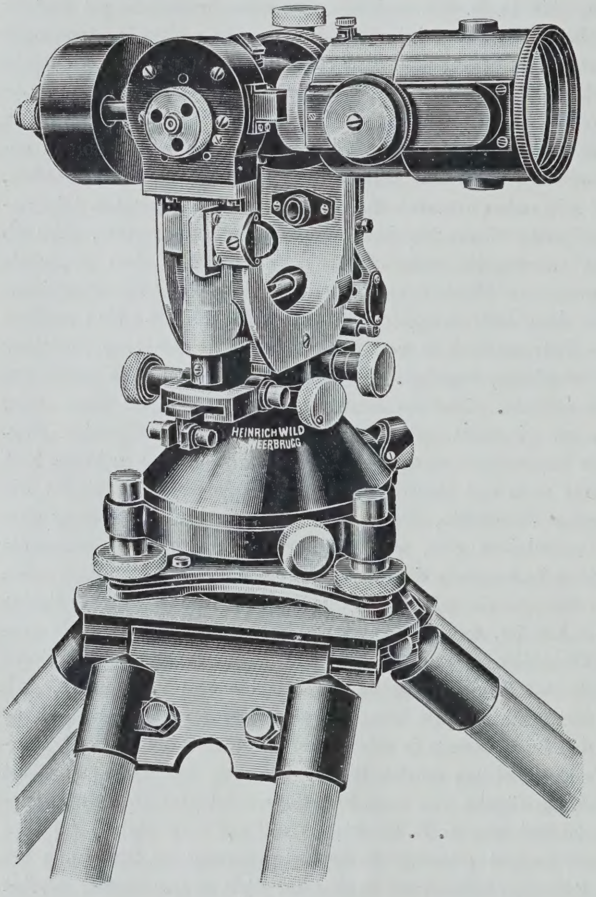


Fig. 1.

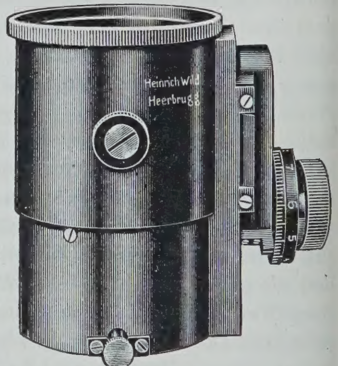


Fig. 2.

Die zwei Platten bilden das optische Mikrometer, das durch die „cm-Trommel“ die cm der zu messenden Entfernung ablesbar macht, während m und dm direkt an der Latte (s. u.) ablesbar werden. Der „anallaktische“ Punkt des Entfernungsmessers, der der Nullstellung der cm-Trommel entspricht, liegt 50 cm hinter (dem Okular zu) den achromatischen Keilen. Da die Entfernung der Keile von der Kippachse des Fernrohrs rund 7 cm beträgt, so ist die Additionskonstante (oder hier vielmehr Subtraktionskonstante) des entfernungmessenden Fernrohrs — 0,43 m. Sie kommt übrigens bei der Messung und Berechnung von Entfernungen nicht in Betracht, da die eine Hälfte der Latte von der Nullmarke aus um den genannten konstanten Betrag gegen die zweite Hälfte

verschoben ist. Die Lattenteilung wird nach empirischer Bestimmung der Multplikationskonstanten so hergestellt, daß wie eben gesagt, bei der Messung die Additionskonstante nicht zu berücksichtigen ist und der Lattenabschnitt stets mit der Zahl 100 zu multiplizieren ist, nachdem mit der cm-Schraube die Strichkoinzidenz hergestellt ist. Die eine Hälfte der Latte hat nämlich dm-Striche und -Felder, die andere cm-Striche und -Felder; den Anblick der Horizontallatte in ihrer Aufstellung am senkrechten, 1,8 m hohen Standrohr zeigt Fig. 5 *(s. S. 358)*.

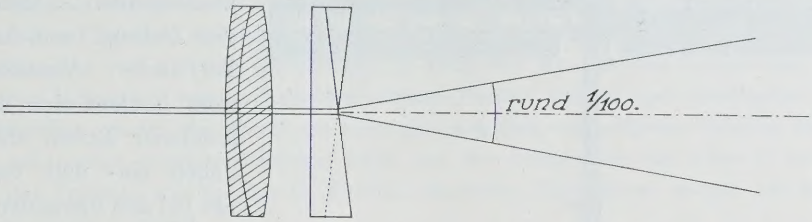


Fig. 3.

Beim Gebrauch des Entfernungsmessers ist zunächst das Rohrstück Fig. 2 auf das Objektivende des Theodolit-Fernrohrs bis zum Anschlagschräubchen einzuschieben, sodann die Ausbalancierung des Fernrohrs durch Anstecken des Gegengewichts am Okularende wiederherzustellen. Im Fernrohrgesichtsfeld darf nach Vertikalrichtung des Standrohrs und Normalrichtung der Horizontallatte nur noch eine feine Trennungslinie zwischen den Bildern der zwei Lattenhälften (dm- und cm-Hälfte) erscheinen; die cm-Trommel wird dann gedreht (Uhrzeigersinn), bis zwischen den Seiten der dm-

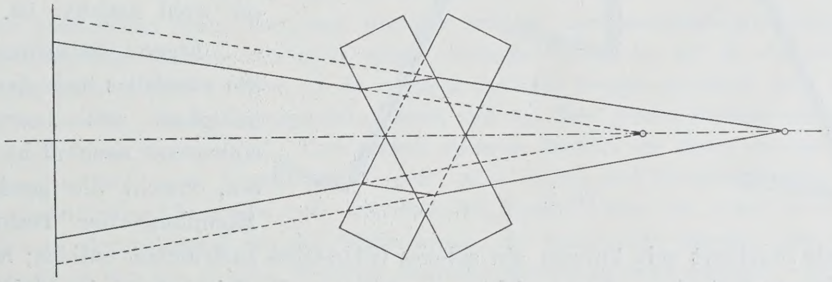


Fig. 4.

oder cm-Hälfte scharfe Koinzidenz vorhanden ist. Für die Entfernung 53,0 m z. B. wäre das Bild im Fernrohr das der Fig. 6[1]): die Meterablesung der Entfernung lautet damit an der Latte 50 + 3 oder 40 + 13 oder . . . 10 + 43. Die überschießenden cm der Entfernung sind im allgemeinen Fall als Trommelteile der „cm-Trommel" abzulesen, jedes Trommelintervall entspricht 1 cm Entfernung.

Als besondern Vorzug seines Entfernungsmessers hebt Wild hervor, daß etwaiges Luftzittern sofort sichtbar wird, eine der Hauptfehlerquellen aller genauen „optischen" Entfernungsmessung und bei den sonstigen Einrichtungen mit Ablesung an verschiedenen Stellen der Latte (vertikaler Latte, Differentialrefraktion!) besonders zu fürchten. Bei Ablesung des Lagekreises ist zu beachten, daß immer die Zielmarke derselben Bildhälfte, z. B. der linken eingestellt wird; ablesen durch Schätzen auf 1′ auch für T_I ausreichend.

Wie die vorstehenden Zeilen zeigen, liefert der „Präzisionsdistanzmesser" zu-

---

1) Die Fig. 1, 2, 5, 6 sind in Stöcken von der *Wild*schen Werkstatt geliefert, 3, 4 für die Zinkographie neu gezeichnet.

nächst nicht die horizontale Entfernung e zwischen Standpunkt des Instruments und Standpunkt der Latte, sondern die schiefe Entfernung D, so daß sowohl e als auch der Höhenunterschied h zwischen beiden Punkten erst berechnet werden muß aus $e = D \cdot \cos\alpha$, $h = D \cdot \sin\alpha$, wo α den am Instrument abzulesenden Höhenwinkel der Zielung bezeichnet. Das Wildsche Vermessungsbureau bedient sich dazu vorhandener Tafeln der natürlichen sin- und cos-Zahlen, ein bei den unrunden D nicht gerade bequemes Verfahren; eine besonders eingerichtete Tafel (Abart der „Koordinatentafeln“) wäre mehr angezeigt. Vielleicht entschließt sich Wild aber auch noch zur Konstruktion einer mechanischen Einrichtung zur Ablesung von e und von h, die wohl denkbar ist.

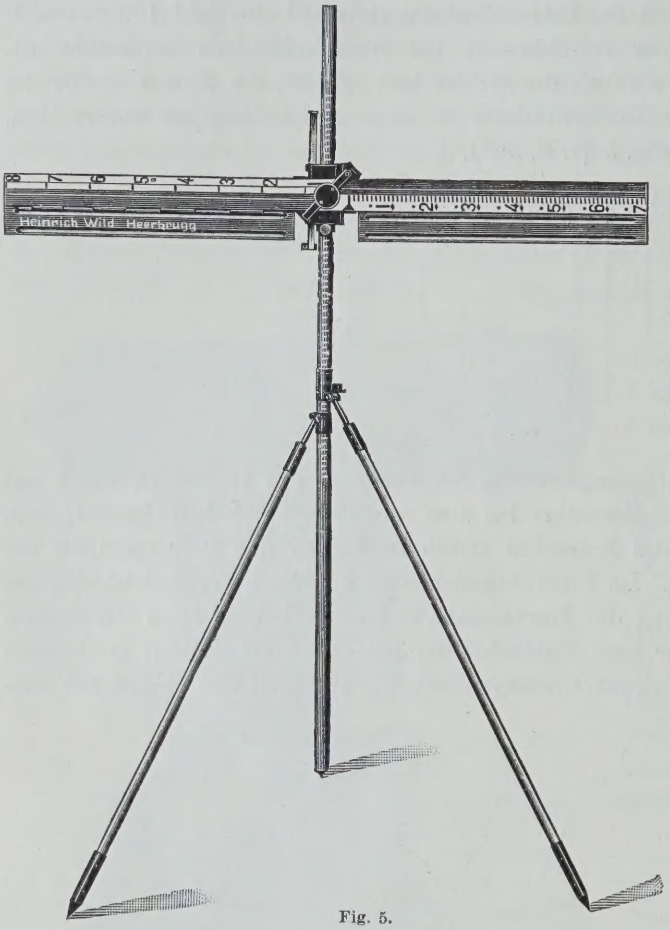


Fig. 5.

Eigene Erfahrungen über die zweifellos bedeutende Genauigkeit des Instruments stehen mir noch nicht zu Gebot, obwohl die geodätische Sammlung der Technischen Hochschule Stuttgart seit kurzem ein solches Wildsches Instrument enthält; ich hoffe aber in kurzer Zeit über solche berichten zu können. Vielleicht kann ich dabei dann auch gleich einige Notizen beifügen über einige weitere in letzter Zeit ebenfalls in der Schweiz entstandene „Präzisionsdistanzmesser“ von Werffeli-Kern, von Boßhardt und von Engi.

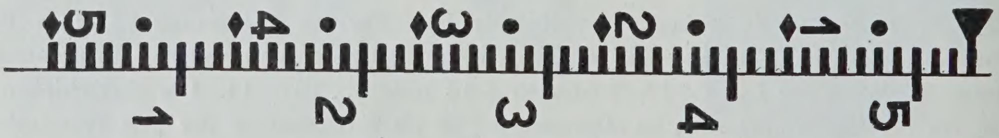


Fig. 6.

Referate.

Untersuchung eines astronomischen Objektivs.

Von M. G. Demitriscu. *Revue d'Optique* **3.** *S. 531. 1924.*

Der Verf. untersucht ein von der Firma Zeiss geliefertes Objektiv von 20 cm Durchmesser und 3 m Brennweite, welches er an ein photographisches Äquatorial der Sternwarte in Bukarest montierte.

Wie bei seinen früheren Untersuchungen verschiedener Objektive[1]) wandte er die Hartmannsche Methode der Untersuchung im extrafokalen Bilde an. Die Blende, welche er zu diesem Zwecke vor dem Objektiv anbrachte, enthielt in zwei senkrecht zueinander stehenden Reihen 19 runde Öffnungen von je 8 mm Durchmesser in Abständen von 14,6 mm voneinander.

Zu den Aufnahmen wurden 'orthochromatische Platten benutzt und unmittelbar vor diese noch ein Farbfilter gesetzt, bestehend aus einer planparalellen mit gefärbter Gelatine überzogenen Platte, so daß nahezu monochromatisches Licht von der Brechbarkeit der Linie D zur Wirkung gelangte. Das Fernrohr war bei den 15 Minuten dauernden Expositionen nahezu auf den Zenith nämlich auf α Lyrae gerichtet.

Die aus den Messungen der Aufnahmen berechnete charakteristische Hartmannsche Zahl hatte die Größe 0,39. Hartmann hat den Satz aufgestellt, daß bei einem Betrag dieser Zahl bis 0,50 ein Objektiv noch als recht gut bezeichnet werden kann.

Im einzelnen bemerkt der Verf., daß das fokale Bild vom Standpunkt der geometrischen Optik betrachtet kaum die Größe des theoretischen Beugungskreises überschreitet. Wenn auch der Astigmatismus reichlich groß sei, so muß die Gesamtleistung des Objektivs doch als zufriedenstellend bezeichnet werden. *H. Krüss †.*

Die Gültigkeitsgrenze des geometrischen Gesetzes der Lichtbrechung.

Von P. Fröhlich. *Ann. d. Physik (4)* **65.** *S. 577. 1921.*

Die geometrische Optik lehrt, daß sämtliche Strahlen einer punktförmigen Lichtquelle, die unter allen möglichen Winkeln von einem optisch dünneren Medium her auf die Grenzfläche gegen ein optisch dichteres Medium zielen, in dem optisch dichteren Medium innerhalb eines Kreiskegels fortschreiten müssen, dessen Öffnungswinkel durch das aus dem Brechungsgesetz folgende Gesetz der totalen Reflexion bestimmt ist. Vom optisch dichteren Medium aus dürfte demnach die Licht quelle nur innerhalb dieses Kegels sichtbar sein. Aber Theorie und Experiment haben bewiesen, daß die punktförmige Lichtquelle auch außerhalb des Kegels sichtbar ist, wenn sie sich von der Grenzfläche in einem Abstand von der Größenordnung der Wellenlänge befindet. Die vorliegende Arbeit macht es sich zur Aufgabe, diejenige maximale Entfernung der Lichtquelle von der Grenzfläche experimentell zu bestimmen, bei welcher die Lichtquelle außerhalb des Grenzkegels der Totalreflexion eben noch sichtbar ist. Hierin liegt gleichzeitig eine Bestimmung der Gültigkeitsgrenze des geometrischen Gesetzes der Lichtbrechung.

Die Beobachtungsmethode ist folgende: Verf. benutzt zwei gleichseitige Prismen, die jedes eine sehr schwach kugelförmig gekrümmte Fläche haben. Die Kugelfläche des ersten Prismas trägt eine sehr feine Furche, die in der Mitte unter einem stumpfen Winkel geknickt ist. Der Knick dient als Lichtpunkt, wenn das erste Prisma durch die eine ebene Fläche hindurch sehr intensiv beleuchtet wird. Die beiden Prismen stehen mit den Kugelflächen sehr dicht beieinander, ihr Abstand kann verändert und mittels der Newtonschen Farbenringe genau bestimmt werden. Das in das erste Prisma gesandte Licht beleuchtet nur die Furche, an den übrigen Stellen der Kugelfläche wird es total in das Prisma zurückreflektiert. Eine theoretische Überlegung zeigt, daß die Intensität des von einem Randpunkt der Furche ausgehenden Lichts außerhalb des Grenzkegels der Totalreflexion mit der Entfernung der Furche von der Kugelfläche des zweiten Prismas und mit der Beobachtungsrichtung sehr schnell abnimmt. Aber jene Grenzentfernung, bei welcher das geometrisch-optische Brechungsgesetz gerade ungültig wird, ist nur experimentell bestimmbar. Die Untersuchungen wurden für verschiedenfarbige Lichtarten ausgeführt und ergaben, daß die Werte der kritischen

[1]) *Diese Zeitschr.* **44.** *S. 373. 1924.*

Grenzentfernungen des Lichtpunktes von der Grenzfläche sich vermindern, wenn das beobachtende Auge aus dem Grenzkegel der Totalreflexion herausrückt. Dies gilt für jede Farbe. Bei gleicher Beobachtungsrichtung ist die absolute Grenzentfernung für langwelligeres Licht größer als für kurzwelligeres. In Wellenlängen gemessen ist jedoch der Wert der Entfernung umgekehrt für längere Wellen kleiner. Die Untersuchungen dieser Arbeit beschränken sich nur auf die Grenzfläche zwischen Luft und Glas. Die Bestimmung der maximalen Entfernung auch im Fall der Grenzflächen verschiedener Flüssigkeiten mit Glas ist in der im folgenden referierten Arbeit veröffentlicht.

Flügge.

Weitere Beobachtungen über die Gültigkeitsgrenze des geometrischen Gesetzes der Lichtbrechung.

Von P. Fröhlich. *Ann. d. Physik (4)* **75.** *S. 598. 1924.*

In den Luftraum zwischen den beiden Prismen wurden verschiedene Flüssigkeiten gebracht, deren Brechungsverhältnisse sich sukzessive dem Brechungsverhältnis des Glases näherten. Zur Verwendung kamen Wasser, Chloroform und Benzol. Die Ausführung der Beobachtungen geschah nach derselben Methode, wie schon oben beschrieben. Die Resultate entsprechen ganz denen der ersten Abhandlung. Neu ist, daß die Abnahme der absoluten Grenzentfernung bei weiterem Herausrücken aus dem Grenzkegel der Totalreflexion bei denjenigen Medien schneller erfolgt, die ein höheres Brechungsverhältnis haben. Die quantitativen Messungen wurden vom Verf. immer mit unpolarisiertem Licht ausgeführt. Mit polarisiertem Licht konnten nur qualitative Beobachtungen angestellt werden. *Flügge.*

Zur heterochromatischen Photometrie.

Von Clemens Schaefer, *Physikal. Zeitschr. (Jubiläumsheft)* **26.** *S. 58. 1925.*

Es ist von vornherein keineswegs sicher, ob es überhaupt einen Sinn hat, von der Helligkeit z. B. eines vorgelegten farbigen Pigments zu sprechen in dem Sinne, daß man von zwei verschiedenfarbigen Pigmenten die Aussage machen kann, sie seien gleich hell. Wenn es aber überhaupt einen Sinn hat, von der „Helligkeit" einer bestimmten Farbe im Vergleich mit einer anderen zu reden, so muß unbedingt die photometrische Vergleichung der Farbe a_1 mit der Farbe a_2, der Farbe a_2 mit Farbe a_3 und so fort und schließlich der Farbe a_n wieder mit Farbe a_1 auf den Anfangswert zurückführen. Diese zuerst von Schrödinger aufgestellte Bedingung wurde mit einem Glanschen Spektralphotometer, von dem das Prisma entfernt worden war, sowie mit einem Bechsteinschen Flimmerphotometer untersucht; die Untersuchung erfolgte an Farbkreisen des Ostwaldschen Farbenatlas.

Es ergab sich, daß tatsächlich die willkürlich mit 100 angenommene Helligkeit der Ausgangsfarbe innerhalb weniger Prozent mit beiden Photometern wieder erreicht wurde, gleichgültig ob drei oder zwölf Farbstreifen eingeschaltet wurden. *Dz.*

Photographische Objektive aus vier getrennten Linsen.

Von A. Sonnefeld. *Dt. Opt. Wochenschr.* **11.** *S. 17. 1925.*

Verf. bespricht vierlinsige Systeme zu Zwecken der Photogrammetrie und Astronomie, bei denen die Petzvalbedingung erfüllt ist. Dadurch, daß die Blende zwischen zwei getrennte Negativlinsen zu liegen kommt, sind gegenüber dem Triplet zwei neue Korrektionsmittel für den Astigmatismus vorhanden. Die Folge ist ein noch größeres korrigiertes Sehfeld, als es bei den Triplets möglich ist. Die vierlinsigen durch Luftabstände getrennten Systeme sind also für Verzeichnung fast vollkommen korrigiert und liefern eine exakt winkeltreue Abbildung. Außerdem haben sie eine sehr geringe Länge, da für die Feldkorrektion mehr Möglichkeiten zur Verfügung stehen als bei den Triplets. Wenn auch eine geringere Lichtstärke einen Nachteil der Objektive aus vier getrennten Linsen darstellt, so sind dennoch die oben angeführten Vorzüge überwiegend. Von Zeiss ist ein solcher neuer Typ konstruiert worden, und zwar ein vierlinsiges Astro-Objektiv, das verzeichnungsfreie Sternaufnahmen liefert. Das Objektiv besitzt ein Öffnungsverhältnis 1:20, jedoch sind auch größere Öffnungsverhältnisse erreichbar, bis 1:7,5. Die Brennweite beträgt 2600 mm. In einem Felde von 9° beträgt die Verzeichnung noch nicht 0,1 Bogensekunde. Diese geringe Verzeichnung erspart dem Astronomen die mühsame Berichtigung der Sternörter. *Flügge.*

Aberrationen photographischer Anastigmate großer Brennweite.

Von A. H. Bennett. *Scientific Papers of the Bureau of Standards. No. 494. (Part of Vol.* ***19.****)* *S. 587. 1924.*

Nach einer eingehenden Diskussion der verschiedenen Linsenfehler und ihrer Einwirkungen auf die Bildgüte, was nur schon Bekanntes bringt, beschreibt Verf. Methoden, diese Fehler experimentell zu messen. Bildfeldkrümmung, Astigmatismus, Verzeichnung und chromatische Fehler werden alle mit ein und demselben Apparat untersucht. Das von einer Punktlampe ausgehende Licht wird mittels eines Kondensors auf ein Kreuzgitter fokussiert. Eine am Kondensor angebrachte Blende aus schwarzem Papier sorgt dafür, daß kein direktes Licht auf die zu untersuchende Linse fällt. Die beiden Linien des Kreuzes (Spinnwebfäden) wirken dadurch als selbstleuchtende Linien auf dunklem Untergrund. Die gekreuzten Fäden sind in einen Rahmen gespannt, der sich mit einer Mikrometerschraube in horizontaler Richtung und in rechtem Winkel zur optischen Bank verschieben läßt. Die zu untersuchende Linse ist auf einem Schlitten montiert, der mit einer Winkelskala versehen ist und seinerseits wieder auf einem Schlitten steht, der längs der optischen Bank verschoben werden kann. Der Winkelschlitten kann außerdem so gestellt werden, daß der Mittelpunkt der Kreisbewegung in den hinteren Hauptpunkt der Linse fällt. Die Justierung des ganzen Apparates ist so vorzunehmen, daß die optische Achse der Linse parallel zur optischen Bank verläuft und daß die Achse des Beobachtungsfernrohrs mit der optischen Achse der Linse zusammenfällt. Bildfeldkrümmung und Astigmatismus werden nun dadurch gemessen, daß bei zwei verschiedenen Winkelstellungen der Linse die zur Einhaltung der Fokussierung nötige Verschiebung der Linse längs der optischen Bank abgelesen wird. Die Verzeichnung wird in ähnlicher Weise durch die Verschiebung des Bildes des Fadenkreuzes gegen das Fadenkreuz im Fernrohr ermittelt. Ganz genau ebenso wird die chromatische Lateralabweichung erhalten, indem gewissermaßen die Verzeichnung für verschiedenfarbiges Licht gemessen wird. Die chromatische Längsabweichung wird geliefert durch die zur Fokussierung nötigen Verschiebungen der Linse längs der optischen Bank, wenn Beobachtungsfernrohr, Linse und Lichtquelle zentriert sind und außerdem durch Lichtfilter bestimmte Wellenlängen ausgesondert werden. Die sphärische Aberration und die Abweichung von der Sinusbedingung werden nach der Hartmannschen Methode gemessen.

Auf diese Weise werden vom Verf. 33 Anastigmate untersucht; und zwar ein vierlinsiger Tessar-Typ in mehreren gleichartigen Ausführungen, mehrere Triplets und vierlinsige Objektive mit Luftabständen, sowie endlich ein fünflinsiger Tessar. Als Ergebnis der Untersuchung zeigt sich, daß zwischen dem Tessar und dem vierlinsigen System keine großen Unterschiede vorhanden sind. Jedoch gibt die symmetrische Konstruktion des vierlinsigen Systems mit Luftabständen eine bessere Korrektion der Verzeichnung. Andererseits zeigt der Tessar mit seiner Kittfläche einen geringeren Lichtverlust durch Reflexion an den Luft-Glasflächen. Der Triplet-Typus zeichnet sich durch eine hervorragende sphärische Korrektion aus, leidet jedoch an einem kleinen Bildfeld und geringer wirksamer Öffnung. *Flügge.*

Der Taylor-Hobson F/2 Anastigmat.

Von H. W. Lee. *Trans. Opt. Soc.* ***25.*** *S. 240. 1923/24.*

Verf. beschreibt einen Anastigmaten großer Öffnung, der in Aufbau und Korrektionszustand große Ähnlichkeit mit dem Rudolphschen Planar 1:3,3 aufweist. Der Taylor-Hobson F:2 Anastigmat ist als symmetrisches Objektiv gedacht und demnach nur für eine Hälfte gerechnet und korrigiert. Nach dem Zusammensetzen ist die symmetrische Hälfte zwecks endgültiger Korrektion modifiziert. Wie der Planar besteht jede Hälfte aus zwei durch Luft getrennte Linsen, mit der positiven Linse nach außen und der negativen, in einem positiven und mit ihm verkitteten negativen Bestandteil aufgespaltenen, Linse nach innen. Bemerkenswert ist, daß die Kittfläche eine Planfläche ist. Die beiden positiven Linsen sind ferner aus der gleichen Glassorte. Im Korrektionszustand stimmen beide Anastigmate durchaus überein, insbesondere zeigen sie beide eine Abweichung von der Erfüllung der Sinusbedingung bei großen Öffnungen. Dies ist für die Korrektion auf Koma als zweckmäßig erkannt worden. *Flügge.*

Bücherbesprechungen.

W. Heiskanen, Untersuchungen über Schwerkraft und Isostasie. *Suomen Geodeettisen Laitoksen Julkaisuja, No. 4, Helsinki 1924.*

Die nach den Ergebnissen der Schweremessungen bereits in der Mitte vorigen Jahrhunderts gewonnenen Vorstellungen der Isostasie oder des hydrostatischen Gleichgewichts der Erdkruste ist heute keine Hypothese mehr, sondern hat sich, bestätigt durch Schweremessungen auf der ganzen Erdoberfläche, zur Theorie entwickelt. Allerdings dominieren zwei wesensverschiedene Anschauungen dieses Gleichgewichtszustandes: die von Pratt aufgestellte und von Hayford und Bowie weiter entwickelte Hypothese, daß der Massenüberschuß der Gebirge durch unterirdische Massendefekte und das Massendefizit der Meere durch subterranen Überschuß ausgeglichen sei bis zu einer bestimmten Tiefe hydrostatischen Gleichgewichts, der sogenannten „Ausgleichstiefe", und andererseits die von Airy herrührende Vorstellung, nach der die Kontinente in einer Magmaschicht wie Eisschollen im Wasser schwimmen und somit die Ausgleichstiefe mit der Eintauchtiefe der Kontinentalscholle zusammenfällt. Den Geologen ist die Airysche Hypothese die überzeugendere, wie die Arbeiten von Kossmat, Wegener und Born zeigen.

Die vorliegende Abhandlung von Heiskanen, die dem geistigen Urheber des Geodätischen Instituts zu Helsingfors, Prof. A. Donner, zum 70. Geburtstage gewidmet ist, geht nun von einem anderen Gesichtspunkt aus als die vorgenannten Arbeiten. Es werden nicht die mittels der Bouguerschen Beziehung reduzierten Beobachtungen kartographisch dargestellt und an Hand der so erhaltenen Schwereanomalien unter der Geoidfläche entschieden, ob sie der Prattschen oder der Airyschen Hypothese mehr entsprechen. Die Messungsergebnisse werden vielmehr von vornherein mit einer isostatischen Reduktion versehen, die auf Grund der Hayfordschen und andererseits der Airyschen Vorstellung errechnet ist. Es ergeben sich so verschiedene Schwerkraftsanomalien, oder besser gesagt, Abweichungen vom isostatischen Zustand; derjenigen Hypothese wird dann der Vorzug zu geben sein, deren Reduktionsmethode die geringsten Anomalien zeigt; die Reduktion ist um so besser, je weniger die Ergebnisse einen Gang mit der Höhe zeigen.

In vorliegender Arbeit wird daher an den mit Freiluftreduktion $\left(\frac{2\,\mathrm{Hg}}{\mathrm{R}}\right)$ versehenen Beobachtungsergebnissen Europas und des europäischen Rußlands eine topographische, die Unebenheiten der ganzen Erdkugel zonenweise berücksichtigende Reduktion angebracht. Je nachdem man dann weiter entweder von der Hayfordschen oder Airyschen Hypothese ausgeht, kann man verschiedene isostatische Reduktionen berechnen; dabei wurde bei der ersteren vom Verf. eine Ausgleichstiefe von 113,7 und 156,3 km, bei der letzteren ein sprunghafter Übergang vom Sial zum Sima, verschiedene Dichtedifferenzen (0,2, 0,3 und 0,6) und entsprechend verschiedene Krustendicken angenommen. Als Vergleich wurde häufig noch die Bouguersche Reduktion und die Hayfordsche Reduktion unter Annahme regionaler Kompensation errechnet, so daß sich zuletzt 6 bis 8 verschiedene Werte von Schwerkraftsanomalien für jede Station ergaben.

Außerdem wurden alle isostatisch reduzierten Stationen dazu benutzt, um neue Formeln für γ_0 abzuleiten.

Als Hauptergebnis folgt nun aus der Diskussion der nach den verschiedenen Annahmen abgeleiteten Anomalien, daß in Kaukasien, in den Alpen und in U. S. A. die Airyschen Annahmen etwas besser als die Prattschen und Hayfordschen mit den Schwerebeobachtungen in Einklang stehen. Wenngleich dieses Resultat eine Bestätigung der neuesten geologischen und geophysikalischen Vorstellungen über die Isostasie ist, so besteht bei anderen Ergebnissen wiederum der schärfste Gegensatz.

Nach Ansicht des Verf. ist durch seine Rechnungen „die allgemein anerkannte Behauptung, daß Harz und Riesengebirge kaum kompensiert seien, als unzutreffend erwiesen und die Behauptung der Geologen, daß die Randsenken der Gebirge überkompensiert sind, als unrichtig widerlegt". Dem Ref. scheint dieser Widerspruch vielleicht dadurch erklärbar, daß der Verf. ja der isostatischen Reduktion einer Randsenkenstation schon eine ganz bestimmte Hypothese über die Art der Kompensation der Randsenken und des Gebirges, allgemeiner über die Beeinflussung des isostatischen Zustandes durch weiter entfernte Massen zugrunde legt, was bei der Bouguerschen Reduktion

nicht getan wird. Das Resultat besagt also in diesem Falle nur, daß diese Voraussetzung auf ihre Richtigkeit zu prüfen ist; denn bei unserer Unkenntnis über die Beschaffenheit der tieferen Rindenzonen ist es zweifellos viel schwerer, über die Art und die Ausdehnung des isostatischen Zustandes von vornherein zahlenmäßige Angaben zu machen. Empfehlenswerter ist der z. B. von Kossmatt eingeschlagene umgekehrte Weg, nämlich auf Grund der lediglich nach der Bouguerschen Beziehung ohne jede isostatische Annahme reduzierten Beobachtungen Erwägungen über den Zustand der tieferen Krustenpartien anzustellen, also in diesem Falle zu konstatieren, daß die Randsenken nur in Verbindung mit dem Gebirge kompensiert sind. Hier ist A. Born recht zu geben, wenn er von einer ähnlichen, wie die vom Verfasser verwendeten Methode sagt, daß sie schon deswegen prinzipielle Nachteile besäße, weil sie beobachtete Faktoren mit solchen hypothetischer Natur kombiniert.

Abgesehen davon scheinen ja auch die neueren Feinnivellements in der Bayerischen Tiefebene zu beweisen, daß die orogenetischen Vorgänge, die dem Alpenvorland den Stempel des Schweredefizits aufgedrückt haben, noch heute am Werke sind. Dr. *C. Heiland.*

M. Robitzsch, Beobachtungsmethoden des modernen Meteorologen. Aus der Sammlung geophysikalischer Schriften, Heft 4. 8⁰. Berlin 1925, Gebr. Borntraeger. 125 S. Brosch. 6,75 M.

In gedrängter, aber klarer, leicht verständlicher Form stellt der Verfasser all das zusammen, was dem beobachtenden Meteorologen bei der Auswertung seiner Messungen an physikalischen Fragen begegnen kann. Nirgends findet man bisher eine derartige Zusammenstellung. Was in der Literatur vorhanden ist, stellt mehr oder weniger nur Einzelgebiete dar.

Von den Beobachtungen des Luftdrucks, der Lufttemperatur, der Luftfeuchtigkeit, der Luftströmungen ausgehend, werden die Beobachtungsmethoden für die Bewölkung, den Sonnenschein und die Strahlung behandelt und ein kurzer Überblick über die Zusammenhänge von Niederschlag und Luftelektrizität gegeben. Besonders hervorzuheben sind die Ausführungen über die Auswertung der Angaben unserer Meßinstrumente, hier ist auch wohl die einzige Stelle, an der eine etwas größere Ausführlichkeit das Ganze noch abgerundeter hätte erscheinen lassen. Es ist anzuerkennen, daß der Verfasser sonst stets leicht die Grenze gefunden hat, von dem was er voraussetzte und bis zu der er in den Stoff eindringen konnte, ohne zu speziell zu werden. An einzelnen Stellen hätte m. E. eine exaktere Formulierung Platz greifen können; z. B. bei der Darstellung der Theorie des Bourdonrohres könnte leicht der Anschein erweckt werden, daß es sich um eine exakte Theorie desselben handelt, während nur eine, für die Praxis allerdings weit ausreichende Näherung, gegeben ist.

Jedem Meteorologen vermittelt das Buch trotz der besonderen Einstellung des Ganzen eine Sammlung von Erfahrungen, die von einem Fachmann vorzüglich zusammengestellt sind, und die der Beachtung wert sind. Wenn der Verfasser in der Einleitung das Ganze als einen Versuch bezeichnet, so ist dieser Versuch ein wohl gelungener. *P. D.*

Zuschriften.

Monochromator.

In *dieser Zeitschr.* **45.** *S. 259. 1925* ist über einen von P. H. van Cittert vorgeschlagenen „Monochromator von großer Lichtstärke und mit wenig diffusem Licht" (*Rev. d'Opt.* **2.** *S. 57. 1923*) referiert. Van Cittert sagt, daß bei zwei hintereinander geschalteten Monochromatoren beim Übergang von einer Farbe zur andern die Schwierigkeit besteht, daß beide Prismen um genau gleiche Winkel gedreht werden müssen. Das trifft doch nur für einen bestimmten Fall zu, nämlich für den Fall, daß beide Dispersionssysteme aus ein und demselben Glase sind und genau gleiche Winkel haben. In den meisten Fällen wird aber bei zwei hintereinander geschalteten Monochromatoren schon das Glas für beide Dispersionssysteme verschieden sein. Man wird sicherlich bei zwei hintereinander geschalteten Monochromatoren nie anders arbeiten, als daß man sich die Teiltrommeln der Dispersionsschrauben beider Monochromatoren — falls sie keine Wellenlängentrommeln besitzen — eicht und den Sekundärspalt des ersten Monochromators gleichzeitig als Primärspalt des zweiten Monochromators benützt. Eine Einstellung beider Dispersionssysteme wird also bei zwei hinterein-

ander geschalteten Apparaten immer nötig sein, aber die Größe der Drehung beider Prismen hängt immer von der Glasart und dem brechenden Winkel ab, wie es ja auch bei dem vorbeschriebenen Apparat der Fall ist. *C. Leiss.*

Kreisteilungen.

In *dieser Zeitschr.* ***45.*** *S. 263. 1925* wendet sich Herr H. Wanschaff gegen ein Urteil, das Herr Heuvelink über die Güte der Kreisteilungen von J. bzw. H. Wanschaff fällt, und knüpft daran einige ergänzende Worte über Prüfungsergebnisse von Teilungen. Seine diesbezüglichen Bemerkungen sind aber in der Allgemeinheit, wie sie in den beiden letzten Absätzen ausgesprochen werden, nicht als zutreffend zu bezeichnen. Handelt es sich um Präzisions-Teilungen, so ist die mit hinreichender Genauigkeit etwa nach dem symmetrischen Verfahren (Helmert, Ausgleichungsrechnung, Leipzig 1907, *S. 442;* Kohlrausch, Praktische Physik, Leipzig 1923, *S. 278*) aufgestellte Fehlerkurve eines Teilkreises in ihrer Anwendung auf Winkelmessungen nicht merklich abhängig von den persönlichen Einstellungsfehlern des Prüfenden und von den zur Prüfung gewählten Gradstrichen. Ebenso unbeeinflußt dadurch sind der mittlere regelmäßige (periodische) und unregelmäßige (zufällige) Teilungsfehler des einzelnen Durchmessers (eine übertriebene Genauigkeit darin sei ausgeschlossen), die ja gerade maßgebend sind für die Beurteilung der Güte einer Kreisteilung — das Thema des Herrn Heuvelink. Man hat hierbei immer zu bedenken, daß selbst bei den besten Kreisteilungen der mittlere unregelmäßige Teilungsfehler schon etwa $\pm$ 0,2 bis 0,6 Sekunden beträgt. Ergibt sich entweder bei der Teilungsuntersuchung oder bei späteren Winkelmessungen das Vorhandensein von größeren sprungweise vorkommenden Teilungsfehlern, so sind diese gesondert zu bestimmen; als gut kann ein solcher Teilkreis dann wohl nicht mehr gelten.

Schönrock.

Kreisteilungen.

In *dieser Zeitschrift,* ***45.*** *S. 263. 1925* schreibt Herr H. Wanschaff über Kreisteilungen. Darin wird die Abhandlung des Herrn Prof. Heuvelink, die nicht nur für die Wissenschaft und die Feinmechanik im allgemeinen, sondern auch für die deutsche Feinmechanik ihre besondere Bedeutung hat, von Herrn Wanschaff ergänzt. Diese Ergänzung bringt keine neuen Gesichtspunkte in Bezug auf das Problem der Teilkreisuntersuchungen, sondern soll vielmehr u. a. eine kaufmännische Ansicht der früheren Firma Wanschaff vertreten.

Mitgeteilt wird, daß diese Firma die Güte einer Teilung abhängig mache von dem Preise, der für das Instrument zur Verfügung gestellt war, und zwar in der Weise, daß man das Kopieren der Teilung entweder mit einem Fädenpaar oder mit Doppelfädenpaar im Mikroskop vornahm. Jeder, der mit Kreisteilungen zu tun hat, weiß, daß das Teilen eines Kreises in $^1/_{12}$ Grad durch Kopieren 6 bis 8 Stunden erfordert, je nach den Verhältnissen, und daß es ziemlich gleichgültig ist, ob man mit einem oder mit Doppelfädenpaar im Mikroskop einstellt. Eine wesentliche Preisdifferenz kann dadurch kaum entstehen.

Die Ansicht, daß bei einer mittels Doppelfädenpaar im Mikroskop hergestellten Teilung die Fehler der benachbarten Teilstriche der Mutterteilung ausgeglichen, resp. halbiert wird, ist neu, aber falsch.

Aus den übrigen Behauptungen kann man nur schließen, daß Herr Wanschaff die Abhandlung des Herrn Prof. Heuvelink nicht ganz verstanden hat.

Ich möchte hier noch besonders hervorheben, daß der große Wert der Methode Heuvelink nicht nur in den glänzenden Resultaten liegt, welche damit erzielt werden, sondern auch in der Tatsache, daß die Kreisteiluntersuchungen am fertigen Instrument erfolgen, und die Kreise somit dieselben Lagen behalten wie beim Gebrauch. Dies ist z. B. bei Untersuchungen auf einem Teilkreisprüfer nicht der Fall.

Daß das hohe Verdienst des Herrn Prof. Heuvelink in dieser Hinsicht von anderen deutschen Feinmechanikern völlig anerkannt wird, brauche ich hier kaum zu erwähnen.

Arnhem. *G. de Koningh.*

Nachdruck verboten.

Verantwortlich für die Redaktion: Oberregierungsrat Professor Dr. F. Göpel in Charlottenburg.
Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Kuratorium:

Prof. Dr. **R. Straubel**, Prof. Dr. **F. Weidert**, geschäftsführendes Mitglied.

Schriftleitung: Oberregierungsrat Prof. Dr. **F. Göpel** in Charlottenburg-Berlin.

XLV. Jahrgang. **August 1925.** Achtes Heft.

Über Apparate zur mechanischen Differentiation.

Von
Prof. **H. Cranz** und **H. Härlen** in Stuttgart.

Während für die Integration graphisch gegebener Kurven schon seit längerer Zeit geeignete Instrumente vorliegen, ist die Konstruktion genau genug arbeitender Instrumente für Differentiation bisher stets an der Schwierigkeit gescheitert, welche der Verzeichnung von Tangenten oder Normalen einer graphisch gegebenen Kurve sich entgegenstellen. Die graphische Konstruktion benötigt für jeden einzelnen Kurvenpunkt mehrere Hilfslinien und liefert im allgemeinen sehr ungenaue Resultate.

Hele-Shaw (Galle, Math. Instr., S. 59 ff.) ist daher auf den Gedanken gekommen, den Differentialquotienten als das Verhältnis zweier Geschwindigkeiten mechanisch darzustellen. Ein der Kurve folgender Fahrstift dreht zwei Schraubenspindeln, deren Achsen in gerader Linie liegen, und zwar so, daß die Winkelgeschwindigkeiten ω_1 und ω_2 der beiden Spindeln bzw. proportional den x- und y-Komponenten der Fahrstiftsgeschwindigkeit sind. Auf den Schraubenspindeln sitzen Rollen mit scharfem Rand die sich mit denselben Winkelgeschwindigkeiten drehen, solange keine tangentiellen Kräfte an ihrem Rande wirken. Andernfalls werden sie sich auf den Schraubenspindeln verschieben. Die Rollen haben gleichen Halbmesser ϱ und berühren eine ebene Kreisscheibe, die sich um eine zu ihr senkrechte Mittelpunktsachse dreht. Die Berührungspunkte liegen auf einem Durchmesser der Scheibe. Beide Rollen sind so miteinander verbunden, daß sie sich zwar unabhängig voneinander drehen, aber stets gleichen Abstand r haben. Durch die Reibung jeder Rolle an der Scheibe wird diese in Drehung versetzt und jede Rolle wird dann auf ihrer Schraubenspindel eine feste Lage annehmen, wenn die Bahngeschwindigkeiten des Berührungspunkts bei Rolle und Scheibe gleich geworden sind. Ist also in einem bestimmten Augenblick ω die Winkelgeschwindigkeit der Scheibe und sind e und $r - e$ die Abstände der Berührungspunkte vom Scheibenmittelpunkt. dann ist $\varrho\omega_1 = e\omega$ und $\varrho\omega_2 = (r - e)\,\omega$, also

$$\frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{dy}{dx} = \frac{r - e}{e}.$$

Der Differentialquotient kann also in jedem Augenblick durch Ablesung von e auf einem Maßstab bestimmt werden, dessen Nullpunkt in der Drehachse der Scheibe liegt. — Über eine Ausführung des Apparates ist nichts bekannt geworden. Es scheinen uns auch die mechanischen Schwierigkeiten zu groß zu sein, so schön auch der kinematische Gedanke ist. Z. B. wechselt die Winkelgeschwindigkeit der Scheibe fortwährend, weil $\omega = \frac{\varrho}{r}(\omega_1 + \omega_2)$ ist, und ihre Trägheit wird notwendig ein unbestimmbares Zurückbleiben der Rollen hinter der zugehörigen Fahrstiftstellung zur Folge haben.

Das einzige brauchbare Mittel, welches bis jetzt vorgeschlagen wurde, um zu einer gezeichneten Kurve Tangente oder Normale zu konstruieren, ist das im Jahre 1877 von dem Tübinger Physiker Ed. Reusch angegebene Spiegellineal (*Carls Repertorium*). Die Hauptabsicht von Reusch war, an flache Kreisbögen mit nicht erreichbaren Mittelpunkten Radien zu ziehen. Er hat aber selbst darauf hingewiesen, daß das Instrument auch zur Zeichnung von Normalen an beliebige andere Kurven brauchbar sei. Das in den Handel gekommene Instrument war ein dreiseitiges massives Prisma aus schwarzem Glas mit rechtwinklig gleichschenkligem Querschnitt, von welchem eine Kathetenfläche als Spiegelfläche geschliffen war. Wird es quer über den gezeichneten Kreisbogen gelegt und gegen die Spiegelfläche geblickt, so wird in ihr der vordere Teil des Bogens gespiegelt und über das Prisma weg der hintere Teil direkt gesehen. Die Spiegelfläche enthält den Radius dann, wenn das Spiegelbild des vorderen in dem direkt gesehenen hinteren Teil seine Fortsetzung findet. Für andere Kurven benützte Reusch auch ein flaches Spiegelstück aus weißem, undurchsichtigem Glas, das mittels eines dahinter gekitteten Holzklötzchens vertikal zum Papier gestellt werden konnte. Die Spiegelebene geht durch die Kurvennormale, wenn der direkt gesehene vordere Teil mit seinem Spiegelbild keinen Knick bildet.

A. Wagener hat das Reuschsche Spiegellineal zu einem kleinen Instrument benützt, dem Spiegelderivator (*Physikal. Zeitschr.* ***10.*** *S.* 57. — s. a. *diese Zeitschr.* ***29.*** *S. 122. 1909*). Hier wird der Winkel zwischen Kurvennormale und Ordinate in Zehntel-Graden gemessen und außerdem kann je ein Punkt von Normale und Tangente durch einen Nadelstich markiert werden. Dieser Derivator ist also in erster Linie Meßinstrument. Zum Zeichnen bietet er gegenüber dem einfachen Spiegellineal kaum Vorteile.

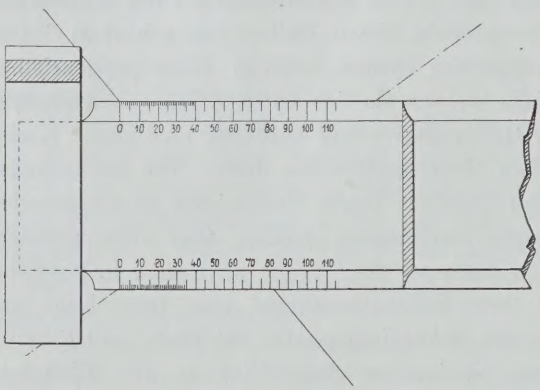


Fig. 1.

Hat man mittels Spiegellineals oder auf andere Weise die Normalen (oder Tangenten) einer Reihe von Kurvenpunkten gezeichnet, so lassen sich die Werte des Differentialquotienten in diesen Punkten mit dem folgenden Hilfsinstrument (Fig. 1) bequem finden. Es besteht aus einem kleinen Winkel, dessen einer, etwa 12 mm starker Schenkel ca. 16 cm lang und 4 cm breit ist. Der andere, dünnere Schenkel (5 mm) ist so in den dickeren eingeplattet, daß die Unterflächen in einer Ebene liegen. Er ist genau 100 mm breit und trägt auf beiden abgeschrägten Seiten mm-Teilung, deren Nullpunkte gleiche Abstände (etwa 6 cm) von der anderen Kante des Anschlagschenkels haben. Man schlägt den dickeren Schenkel an eine mit der Ordinatenachse (bzw. der Abszissenachse) parallele Reißschiene an und verschiebt den Winkel so lange, bis der Nullpunkt der einen Skala über der gezeichneten Normale (bzw. Tangente) steht. Wo die Normale (bzw. Tangente) unter der anderen Skala hervortritt, kann dann der Differentialquotient in $^0/_0$ abgelesen werden.

Alle bis jetzt beschriebenen Vorrichtungen verlangen noch mehr oder weniger umständliche Konstruktionen, wenn die punktweise Aufzeichnung der Ableitungskurve verlangt ist. Wir haben uns die Aufgabe gestellt, unter Benützung der Vorteile, die

das Spiegellineal bietet, diese Punkte ohne jede weitere Hilfslinie zu finden. Das Aufzeichnen der Koordinaten wird vermieden durch zweckentsprechende Führung des Apparates (Fig. 2). In Ordinatenrichtung laufende Schlitten tragen eine Stange, auf der ein horizontaler Schlitten parallel der Abszissenachse beweglich ist. In letzterem dreht sich ein mit dem Spiegel fest verbundener Drehzapfen, dessen Achse in die Spiegelebene fällt. Durch Schrauben an den Schlitten und dem Zapfen kann der Spiegel in jeder Stellung fixiert werden. Er läßt sich mit dieser Führung auf jeden Kurvenpunkt einstellen, was noch erleichtert wird, wenn man auf dem Spiegel in der Drehachse einen feinen Markierstrich anbringt, der auch beim Justieren des Instruments gute Dienste leistet.

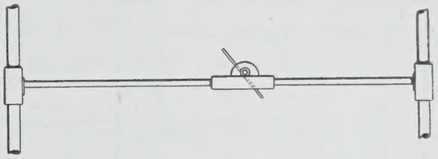


Fig. 2.

Hat man nun (Fig. 3) in der Verlängerung der Spiegelebene ein Lineal, das die Normale angibt, und im Abstand a (Maßeinheit, z. B. 100 mm) vom Spiegeldrehpunkt P ein mit dem Spiegelschlitten fest verbundenes Lineal in Abszissenrichtung, so ist die Strecke QN auf diesem zweiten Lineal vom Fußpunkt Q des Lotes von P (der Ordinate) aus bis zum Schnittpunkt N mit der Normalen gleich dem Differentialquotienten, gemessen in der Maßeinheit a. Es handelt sich jetzt also darum, dies Stück QN von der Abszissenachse der Derivierten aus auf der Ordinate abzutragen, d. h. erstens um Drehung

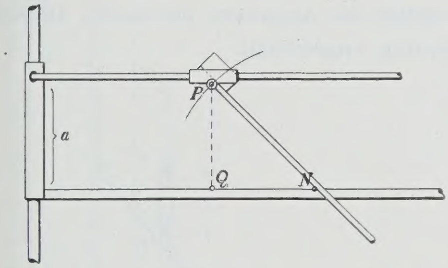


Fig. 3.

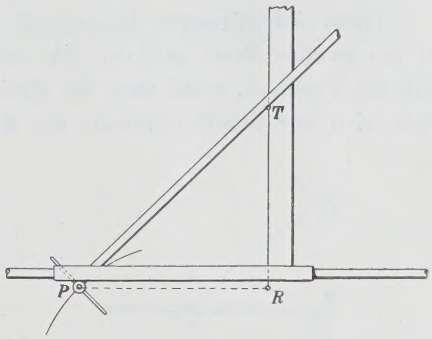


Fig. 4.

um 90°, zweitens um Verschiebung in der gedrehten Richtung. Ersteres kann entweder mit Hilfe eines rechtwinkligen Schiebedreiecks oder mit einem Stangenzirkel geschehen. Eine weitere Möglichkeit bietet sich, wenn die Tangente durch ein Lineal PT vom Spiegeldrehpunkt aus senkrecht auf der Spiegelfläche angegeben ist und ein zweites mit dem Spiegelschlitten fest verbundenes vertikales Lineal den Abstand a (100 mm) von P hat (Fig. 4). Dann ist die Strecke RT vom Fußpunkt des Lotes von P (der Abszisse) aus bis zum Schnittpunkt mit dem Tangentenlineal gleich dem Differentialquotienten in der Maßeinheit a. Es handelt sich also jetzt darum, das Stück RT durch Parallelverschiebung in seine richtige Lage zu bringen. Bei all diesen Ausführungen braucht man eine horizontale Schiene, die auf die gewünschte Abszissenachse der Derivierten vorher festgestellt wird.

1. Mit Dreieck (Fig. 5). Eine zweite, vertikale Schiene wird parallel verschoben, bis sie an dem Schnittpunkt N von Normale und beweglichem, horizontalem Lineal anliegt. Auf der festen horizontalen Schiene wird ein rechtwinklig-gleichschenkliges

Dreieck verschoben, bis es an die vertikale Schiene mit seiner Spitze anstößt. Dann ist der Schnittpunkt seiner Hypotenuse mit der verlängerten Ordinate PQ der gesuchte Punkt. Die verlängerte Ordinate PQ wird durch ein an dem Spiegelschlitten befestigtes Lineal ersetzt, auf dem die Markiernadel läuft.

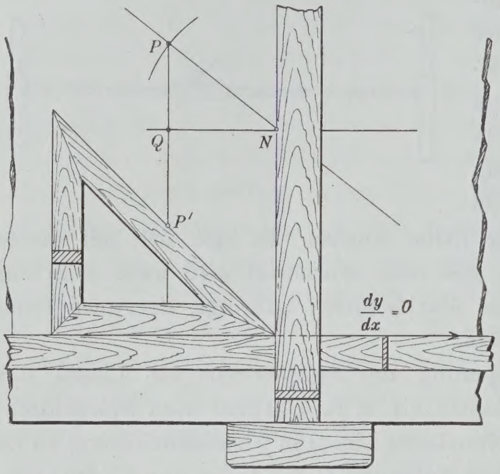


Fig. 5.

2. Mit Stangenzirkel (Fig. 6). Wieder mit Ordinatenlineal. Längs diesem ist der Drehzapfen des Stangenzirkels verschiebbar. Steht er auf Q, dann wird der Läufer mit Markiervorrichtung auf N eingestellt. Sodann der Drehzapfen bis zum Anschlag an die horizontale Schiene längs PQ verschoben und der Zirkel in die Richtung PQ gedreht.

3. Mit Tangente. Nach Einstellung wird der Spiegel mit Tangentenlineal gegen den Schlitten festgestellt (mittels Schraube an dem Drehzapfen). Sodann der ganze Spiegelschlitten verschoben, und zwar vertikal bis R auf die Abszisse der Derivierten fällt und horizontal um a (100 mm).

Diese Ausführungen lassen sich sämtlich vereinfachen, wenn man die Derivierte auf ein zweites Blatt zeichnet, das an dem Vertikalschlitten befestigt ist, so daß es wohl die Vertikal-, nicht aber die Horizontalbewegung des Apparates mitmacht. Dieses Blatt wird vorteilhaft oberhalb der Kurvenzeichnung angebracht.

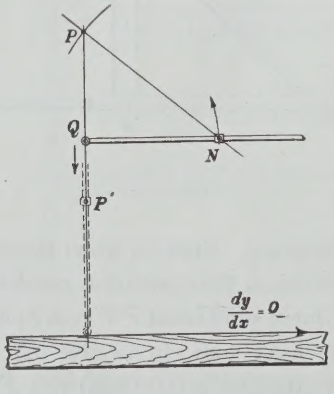


Fig. 6.

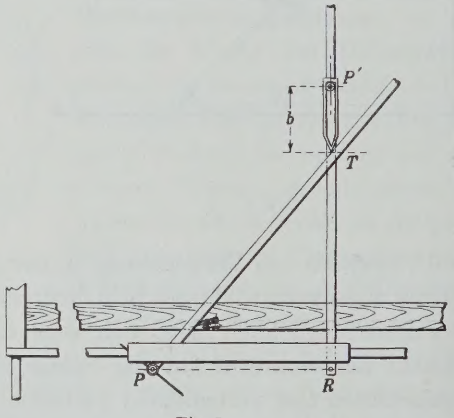


Fig. 7.

4. und 5. Die Ausführung mit Stangenzirkel ist weiter unten eingehend beschrieben. Bei rechtwinkligem Schiebedreieck fällt der Stangenzirkel fort. Dafür muß die verlängerte Ordinate als Lineal am Spiegelschlitten und auf ihr ein Läufer angebracht sein, der bei Anstoß an die Hypotenuse markiert.

6. Mit Tangente (Fig. 7) erhält man bei T auf dem Deriviertenblatt unmittelbar den gesuchten Punkt. Die ganze Deriviertenzeichnung ist dann um a seitlich verschoben. Damit das Deriviertenblatt die Kurvenzeichnung nicht überdeckt, wird es um eine gewisse Strecke b nach oben verschoben. Der Läufer auf RT hat dann zwischen Anschlags- und Markierpunkt den Abstand b.

Für die praktische Ausführung mögen einige Vorbemerkungen gemacht werden:

Die Genauigkeit der Spiegeleinstellung ist bei weißem Beinglase größer als bei dem schwarzen durchweg gefärbten Glase des ausgeführten Reuschschen Lineales, weil Zeichnung und Spiegelbild schwarz auf weißem Grunde erscheinen. Außerdem ist es sehr wichtig, den in Betracht kommenden Teil der Zeichnung gut zu beleuchten. Dies kann leicht durch ein mit dem Apparat verstellbares und gegen das Auge abgeblendetes Glühlämpchen geschehen.

Die Schnittpunkte mehrerer Geraden, die durch Linealkanten dargestellt werden, sind auf dem Papier schwer genau zu fixieren, weil die Kanten nicht sämtlich in die Papierebene fallen. Es müßte daher der Schnittpunkt dadurch markiert werden, daß eine zur Papierebene senkrecht geführte Nadel oder Schneide zur Berührung mit den Linealkanten gebracht wird. Sicherer ist es, die Nadel durch einen am Apparat angebrachten, senkrecht zur Papierebene geführten Zylinder mit Halbmesser ϱ zu ersetzen und die Linealkanten um ϱ parallel zu verschieben. Dann wird dieser Zylinder an die verschobenen Linealkanten angeschlagen und der Punkt durch eine in zentraler Bohrung des Zylinders geführte Nadel mit feiner Spitze markiert.

Bei dem Bau eines Apparates müssen gewisse Schwierigkeiten überwunden werden, wie z. B., daß Teile der Zeichnung verdeckt werden, oder daß Apparatteile einander behindern. Auch ist auf leichte Justierung Rücksicht zu nehmen. Wir geben daher im Folgenden von einem der Vorschläge, fünftens, eine genauere Darstellung.

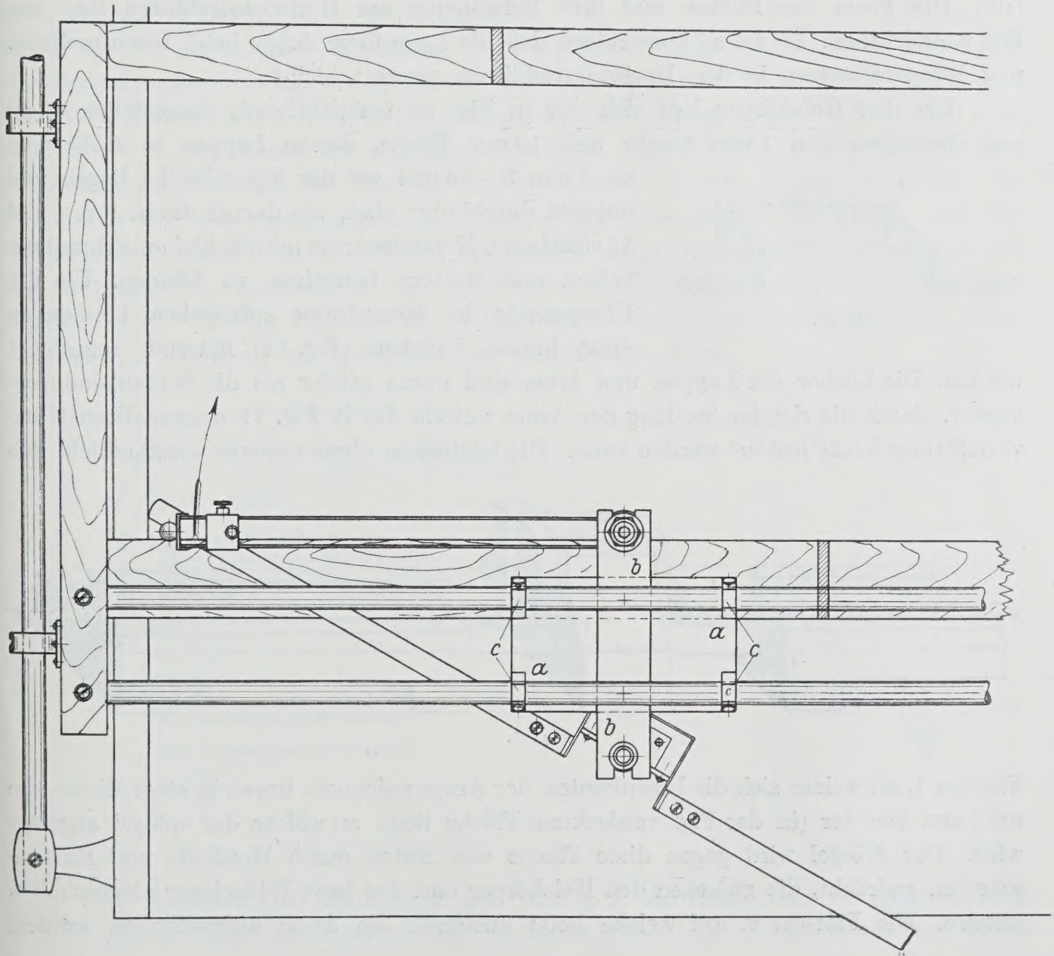


Fig. 8.

Das Spiegelsystem ist in Fig. 9 im Querschnitt senkrecht zur Spiegelebene und in Fig. 8 von oben sichtbar. Auf einem Holzklotz ist der Spiegel, mit weichem Papier hinterlegt, durch kleine Holzschrauben mit Lederunterlage befestigt Auf den Holzklotz ist eine Messingplatte mit einem durchbohrten Zylinderaufsatz aufgeschraubt. In letzterem steckt, durch einen Splint festgehalten, der stählerne Drehzapfen (Fig. 9), mittels dessen der Spiegelkörper sich in der am Horizontalschlitten anzuschraubenden Messingbüchse dreht. Der Bolzen ist oben vierkantig, so daß eine darüber gesteckte kleine Reibscheibe mit vierkantigem Loch sich um 1—$1^1/_2$ mm in der Höhe verchieben läßt. Die Reibscheibe liegt oben auf der Büchse auf und wird durch eine kleine Schraubenmutter, die auf das oberste Ende des Bolzens geschraubt ist, am Herabfallen gehindert. Hierdurch läßt sich das Spiegelsystem der verschiedenen Dicke des Papiers entsprechend in der Höhe etwas verstellen. In den Schraubenbolzen ist eine schwache Nute eingedreht, so daß sich der Bolzen und mit ihm das Spiegelsystem mittels einer in der Büchse laufenden Stellschraube gegen Verdrehung sichern läßt. Die Form der Büchse und ihre Befestigung am Horizontalschlitten sind aus Fig. 9 ersichtlich. Sie ist so konstruiert, daß die Lage ihrer Achse beim Herausnehmen und Wiedereinsetzen in den Horizontalschlitten gewahrt bleibt.

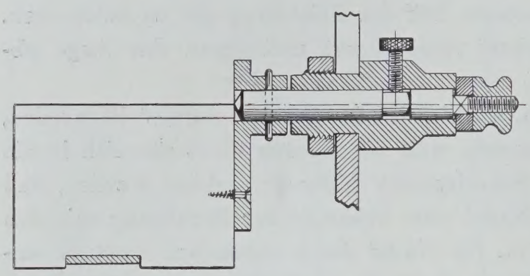


Fig. 9.

Um den Holzkörper legt sich der in Fig. 10 perspektivisch dargestellte Bügel aus Flacheisen von 1 mm Stärke und 10 mm Breite, dessen Lappen in Höhe von 6—7 mm 3—13 mm vor der Spiegelfläche liegen und doppelt durchbohrt sind, um darauf die in Fig. 8 und 11 sichtbaren Normalenarme mittels kleiner Schraubenbolzen und Muttern befestigen zu können. Um das Übergewicht der Spiegelarme aufzuheben, können an diese kleine Füßchen (Fig. 12) federnd angesteckt werden. Die Löcher der Lappen und Arme sind etwas größer als die Schraubendurchmesser, damit die richtige Stellung der Arme mittels der in Fig. 11 dargestellten Hilfsvorrichtung leicht justiert werden kann. Die letztere ist ohne weiteres verständlich. Die

Fig. 10.

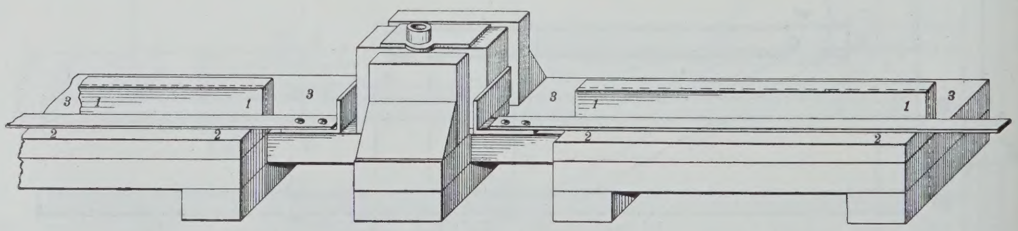


Fig. 11.

Flächen 1, an welche sich die Innenkanten der Arme anlehnen, liegen in einer Ebene, die um 3 mm vor der (in der Fig. verdeckten) Fläche liegt, an welche der Spiegel angelegt wird. Der Spiegel wird gegen diese Fläche von hinten durch Holzkeile und Kartonscheiben gedrückt, die zwischen den Holzkörper und das feste Widerlager eingeschoben werden. Die Flächen 2, auf welche beim Justieren die Arme aufgeschoben werden,

befinden sich in 7 mm Höhe über der Oberfläche 3 des Grundbrettchens, auf das die untere Spiegelkante aufgesetzt wird.

Die richtige Stellung des Spiegels, dessen Ebene durch die Achse des Drehbolzens gehen muß, wird auf der Drehbank leicht dadurch erkannt, daß die Strichmarke des Spiegels stillsteht, wenn der Drehbolzen rundläuft. Eine Korrektur kann durch Veränderung der Dicke der Zwischenlage zwischen Spiegel und Holzklotz bewerkstelligt werden. Am zusammengestellten Apparat muß das untere Ende der Strichmarke denselben Punkt der Zeichnung decken, wenn das Spiegelsystem sich in seiner Hülse dreht. Die senkrechte Stellung der Spiegelebene gegen das Papier wird dadurch erkannt, daß das Spiegelbild einer normal zur Spiegelebene gezogenen Geraden auch bei seitlichem Hineinschauen keinen Knick zeigen darf.

Fig. 12.

Der Horizontalschlitten ist in Fig. 8 in Draufsicht und in Fig. 13 in Seitenansicht dargestellt. Auf eine Eisenplatte a $(100 \times 60 \times 2\,\text{mm})$ sind in den Ecken vier Weichmetallklötze c mit einer Bohrung von 10 mm Durchmesser aufgeschraubt. Durch je zwei gegenüberliegende Löcher geht eines der beiden Stahlrohre, auf denen sich der Schlitten von links nach rechts verchieben läßt. In jeder Stellung kann der Schlitten durch die Fixierschrauben der Klötze festgeschraubt werden. (Diese sind ebenso wie die Befestigungsschrauben der Klötze in Fig. 13 sichtbar gezeichnet.) Auf diese Platte ist ein Flacheisenstück b $(120 \times 24 \times 3\,\text{mm})$ von unten angeschraubt. In diese sind zwei Löcher von 8 und 10 mm so eingebohrt, daß die Mittelpunkte genau 100 mm auseinanderliegen und daß der Mittelpunkt des zweiten Loches 30 mm außerhalb der Projektion der zunächstliegenden Rohrachse liegt. Die Enden des Stücks sind der Längsrichtung nach in genauer Breite der Löcher ausgefeilt, so daß beim einen Ende das Spiegelsystem, beim andern die Befestigungshülse des Stangenzirkels eingeschoben werden kann. Wichtig ist, daß die Achsen der Schlittenrohre untereinander genau parallel und senkrecht zur Mittellinie des Gabelstücks liegen.

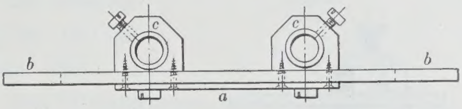


Fig. 13.

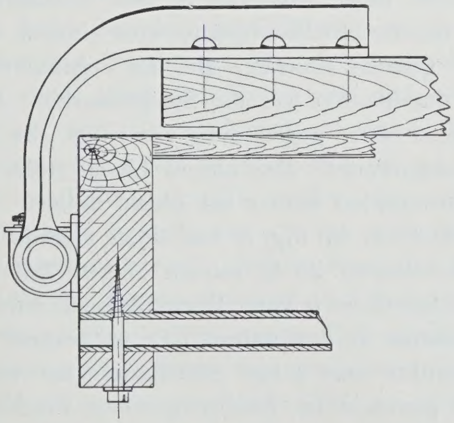


Fig. 14.

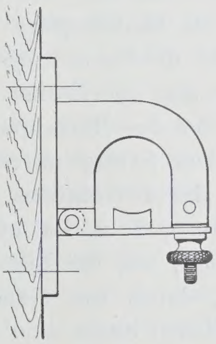


Fig. 15.

Vom Vertikalschlitten sieht man in Fig. 8 den linken Teil in Draufsicht, in Fig. 14 den symmetrischen rechten Teil im Durchschnitt. Die beiden Rohre, auf denen

der Horizontalschlitten gleitet, sind rechts und links vom Reißbrett in Hartholzbrettchen ($32 \times 5^1/_2 \times 2$ cm) eingelassen, welche an der Unterseite mit einer aufgeleimten Weichholzsohle von $1^1/_2$ cm Höhe versehen sind. In die letztere sind zwei querlaufende Hartholzlineale von 25 und 35×5 mm Querschnitt so eingelassen, daß ihre Kanten ebenso wie die Achsen der Rohre genau senkrecht auf dem Brettchen stehen. Die obere Kante des unteren Lineals ist von der Projektion der nächstliegenden Rohrachse 27 mm entfernt. Die inneren Kanten der beiden Lineale liegen etwa 20 cm auseinander. Diese Lineale und die Sohlen der Seitenbrettchen dienen zur Befestigung des verschiebbaren Deriviertenblattes. Getragen wird dieser aus den Brettchen, Rohren und Linealen bestehende Schlitten von zwei zu beiden Seiten des Reißbrettes genau parallel zueinander von oben nach unten gehenden Stahlstangen, die mittels gegossener Träger an der Unterseite des Reißbretts angeschraubt sind. Die Führung besorgen Messinghaken, die an der Außenseite des Brettchens befestigt sind (Fig. 15). Diese Haken sind unten offen, aber durch scharnierartig ausgebildete Lagerdeckel und ausschwenkbare Halteschrauben (Exzenterhebel) verschließbar.

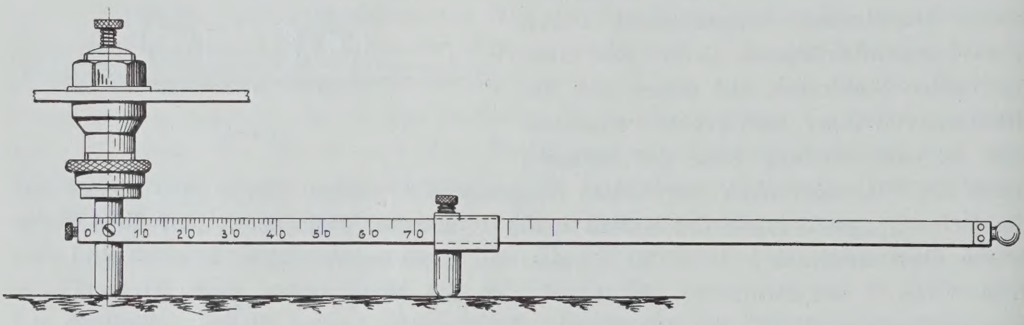


Fig. 16.

Justierung: Die Seitenstangen stehen senkrecht zur unteren Reißbrettkante, wenn bei festgestelltem Horizontalschlitten die Spiegelmarke auf einer Senkrechten zur unteren Reißbrettkante läuft. Ist dies der Fall, dann muß bei alleiniger Bewegung des Horizontalschlittens die Spiegelmarke eine Parallele zur unteren Reißbrettkante durchlaufen. Andernfalls stehen die Rohre nicht senkrecht in den Seitenbrettchen. Die senkrechte, bzw. parallele Lage zur unteren Reißbrettkante wird einfach dadurch erkannt, daß man den Apparat um 180° gedreht aufsetzt. Bei der Vertikalbewegung muß die Markierspitze dieselbe Gerade durchlaufen wie die Spiegelmarke. Andernfalls ist die Platte b des Horizontalschlittens etwas gegen *a* zu verstellen. Zu diesem Zweck sind die Löcher in *a* ein wenig ausgeweitet. Das untere Lineal steht richtig, wenn bei der Horizontalbewegung der Drehzapfen immer am Lineal anliegt.

Der Stangenzirkel (Fig. 16 in Ansicht, in Fig. 8 von oben sichtbar). Der Kern des Drehzapfens (Fig. 17 im Durchschnitt) ist in seinem oberen Teil ähnlich gebildet und in das obere Loch des Gabelstücks *b* vom Horizontalschlitten ebenso eingefügt, wie die Büchse des Spiegelsystems in das untere. Er ist zentral durchbohrt, damit zur Fixierung des Drehpunkts eine lange Stahlnadel, die vor dem Hinabfallen durch eine kleine Spiralfeder gesichert ist, hindurchgesteckt werden kann. Unterhalb des Gabelstücks ist der Kerndurchmesser verkleinert, und darüber ein Rohr von 6 mm äußerem Durchmesser und $^1/_2$ mm Wandstärke geschoben, das oben einen vorstehenden Rand hat und durch ihn und eine auf den Kern aufgeschraubte Überwurfmutter gegen das Herabfallen geschützt ist. Drehung der Überwurfmutter

erlaubt ein Höher- und Tieferstellen des Rohres. Auf das Rohr ist ein mit einer Bohrung von 6 mm Durchmesser versehenes, quadratisches Messingstück von 12 mm Kantenlänge in Höhe von 11 bis 16 mm so gelötet, daß eine Seite gerade das Rohr berührt. An der gegenüberliegenden Seite dreht sich eine Befestigungsschraube, die durch das Rohr hindurchgeht und dieses gegen den Kern festzustellen erlaubt. In den beiden anderen Seitenflächen des Stückes befinden sich in halber Höhe zwei Schraubenlöcher, deren Achsen die des Rohres schneiden. Durch diese sind mittels kleiner Schräubchen zwei Stahllamellen von 5 mm Breite und 1 mm Dicke drehbar an das Stück befestigt, welche die Stange des Zirkels darstellen. Das Rohr ist unten durch einen gewölbten Boden verschlossen, der für die Nadel ein kleines Loch hat. Bei Bewegung des Horizontalschlittens schleift der unter dem quadratischen Stück befindliche Teil des Rohrs an der Innenkante des unteren Lineals vom Vertikalschlitten. Der Läufer (Fig. 18 im Durchschnitt) ist ein zentral durchbohrter, unten schwach gewölbter Zylinder von 6 mm Durchmesser, auf den ein ähnliches, quadratisches Stück wie vorhin aufgelötet ist. Um dieses Stück und die Lamellen ist noch eine Hülse von 1 mm Wandstärke gelegt, welche an einer Seite zur Aufnahme einer Klemmschraube verdickt ist. Durch die Bohrung des Zylinders geht eine durch eine Spiralfeder getragene Markiernadel.

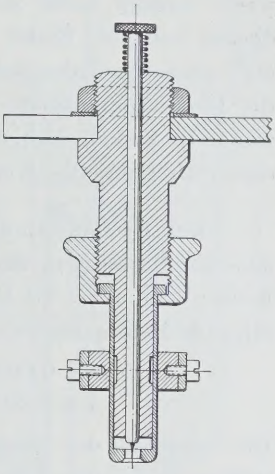


Fig. 17.

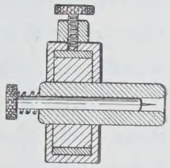


Fig. 18.

Handhabung des Apparates: Nach Öffnung der Haken des Vertikalschlittens wird dieser abgehoben und im unteren Teil des Reißbretts die Kurvenzeichnung aufgelegt und an den seitlichen Fälzen so befestigt, daß die Abszissenachse parallel der unteren Reißbrettkante geht. Das Papier für die Derivierte wird von unten an die Seitenteile des Schlittens angeheftet und nach Aufsetzen des Schlittens die über die Lineale vorstehenden Ränder des Deriviertenpapiers über diese hergebogen und an ihrer Oberseite angeheftet. Nach Schließung der seitlichen Führungshaken stellt man die Spiegelmarke auf den durch einen feinen Nadelstich markierten Kurvenpunkt ein und dreht, nachdem die Glühlampe in günstige Lage gebracht wurde, den Spiegel in die Stellung, bei der Kurve und Spiegelbild keinen Knick bilden. Hält man dabei mit der einen Hand den Spiegelarm und den Läufer zugleich, so daß der Läuferzylinder an dem unteren Lineal anliegt, so kann nach Anziehen der Läuferschraube der Stangenzirkel sofort zum Anschlag an ein rechtwinkliges Schiebedreieck von nicht ganz 20 cm Höhe gebracht werden, das mit der Basis an der oberen Kante des unteren Lineals anliegt und mit der vertikalen Seite an die 6-mm-Röhre des Drehzapfens angestoßen wird. Alsdann kann der Deriviertenpunkt markiert werden. Nun sind wieder die Klemmschrauben der Schlitten zu lösen und dieser auf den nächsten Punkt einzustellen. Für solche Kurventeile, die auf verschiedenen Seiten eines Ordinatenextremums liegen, sind verschiedene Spiegelarme zu benützen und der Stangenzirkel auf die rechte oder linke Seite zu schlagen. Man erhält die absoluten Werte des Differentialquotienten, muß also das Deriviertenblatt an den Nullstellen zerschneiden und die negativen Teile umschlagen. Die Nadel des Drehzapfens gibt die Fußpunkte der Deriviertenordinaten an.

Für Kurvenpunkte, deren Normalen mit der Ordinate einen Winkel von weniger

als $3^1/_2{}^0$ bilden ($\mathrm{tg}\ 3^1/_2{}^0 = 6\,^0/_0 = 6$ mm : 100 mm), kann die Derivierte nicht angegeben werden, weil für diesen Grenzwinkel der Läufer an den Drehzapfen anstößt. Extremwerte werden durch die Nadel des Drehzapfens markiert, wenn der Spiegelarm an diesem anliegt. Bildet die Normale mit der Ordinate einen Winkel von etwas über 60^0, so berührt der Spiegelarm den Läufer gerade noch. Darüber hinaus wächst aber die Deriviertenordinate rasch zu so großen Werten, daß ihre Aufzeichnung ungenau wäre. In vielen solcher Fälle wird der Differentialquotient dx/dy genügen, den man durch Drehung des Kurvenpapiers um 90^0 nach der obigen Vorschrift konstruiert.

Der Spiegel erlaubt bei genügender Beleuchtung, scharfer Kurvenzeichnung und genauer Markierung der Kurvenpunkte die Einstellung der Spiegelebene bis auf einen Fehler von etwa 10 Bogenminuten oder in analytischem Maße 0,003. Der darausfolgende Fehler des Differentialquotienten wäre dann bei einem Steigungswinkel von 30^0

$$\frac{100 \times 0{,}003\ \mathrm{mm}}{\cos^2 30^0} = 0{,}4\ \mathrm{mm},\ \text{bei}\ 60^0\ \frac{100 \times 0{,}003\ \mathrm{mm}}{\cos^2 60^0} = 1{,}2\ \mathrm{mm}.$$

Die Lamellen des Stangenzirkels sind mit mm-Teilung versehen, um auch den numerischen Wert des Differentialquotienten in $^0/_0$ ablesen zu können. Da am inneren Rand des Läufers abgelesen wird, müssen 3 mm addiert werden, wenn der Drehpunkt der Lamellen mit O bezeichnet ist. Diese Addition wird erspart, wenn man den Nullpunkt der Lamellen um 3 mm hinter den Drehpunkt verlegt. Ähnlich können alle Apparate mit Führung des Spiegels als Meßinstrumente gebraucht werden, was gegenüber dem Wagenerschen Derivator den Vorteil bietet, daß keine Hilfslinien gezogen werden müssen.

Alle Apparate mit Spiegel erlauben nur punktweise Differentiation. Daher wird man sich auch mit Anschlag begnügen, da zwangsläufiger Führung mechanische Schwierigkeiten entgegenstehen.

Stuttgart, April 1925.

Apparat aus Quarzglas zur Bestimmung von Wärmeausdehnungszahlen bei hohen Temperaturen.

Von

Dr.-Ing. **H. Sieglerschmidt** in Berlin-Dahlem.

(Mitteilung aus dem Staatlichen Materialprüfungsamt.)

Nachdem die mit einer an anderer Stelle[1]) besprochenen Prüfeinrichtung ausgeführten Untersuchungen ergeben hatten, daß elektrisch beheizte Luftbäder auch bei hohen Temperaturen sehr wohl als Ersatz für Flüssigkeitsbäder (Öl, Salpeter) dienen können, wenn für guten Wärmeschutz Sorge getragen wird, lag es nahe, die Versuchseinrichtung derart abzuändern, daß ohne Gefährdung der Spiegelapparate und der übrigen Teile des Apparates noch höhere Temperaturen als 450^0 C erreicht werden können. Eine obere Grenze ist die Umwandlungstemperatur des Quarzes, welches bei den im Materialprüfungsamt bisher benutzten Einrichtungen zur Bestimmung der Wärmeausdehnung wegen seiner für diesen Zweck wertvollen Eigenschaften durchweg als Material des Vergleichsstabes (Normal) Verwendung gefunden hat.

---

[1]) Bestimmung der Wärmeausdehnung von Metallen und anderen Baustoffen mittels Martensscher Spiegelapparate. *Mitt. aus dem Staatl. Materialprüfungsamt 1920. 2 u. 3. S. 182—219* und *1922. 3. S. 216—233*; vgl. auch „Das Materialprüfungswesen“, 2. Aufl., herausgegeben von K. Memmler. Stuttgart, Ferd. Enke.

Das Quarz hat eine sehr geringe Ausdehnung — etwa $^1/_{20}$ derjenigen des Stahls — und verwandelt sich bei etwa 1000° C in Kristobalit. Diese Umwandlung ist mit bleibender Ausdehnung des Quarzes verbunden, die bereits bei etwa 950° C beginnt[1]), so daß also 900° C als obere Temperaturgrenze bei Verwendung von Quarz als Normal angesehen werden kann. Einer so hohen Temperatur können die Schneiden und Spiegelhalter der Feinmeßapparate nicht ausgesetzt werden, wenn sie nicht aus einem Material hergestellt sind, dessen Härte und Widerstandsfähigkeit bei 900° noch hinreichend groß sind.

Es erschien daher zweckmäßig, die Spiegelapparate außerhalb des Ofens anzuordnen und sie der unmittelbaren Erwärmung durch das Heizbad zu entziehen. Dies ist leicht dadurch zu erreichen, daß das Quarzrohr durch ein aus mehreren Teilen bestehendes Quarzgestänge ersetzt wird, welches in verschiedener Weise mit der Probe verbunden werden kann[2]). Ausgeführt wurde die in Figur 1 dargestellte Vorrichtung. Sie ist stehend angeordnet, da es so leichter möglich ist, gegenseitige Reibung der ineinander geführten Quarzteile zu vermeiden und die Spiegelapparate unterhalb des Ofens, also außerhalb des Bereichs der aufströmenden erwärmten Luft anzubringen[3]).

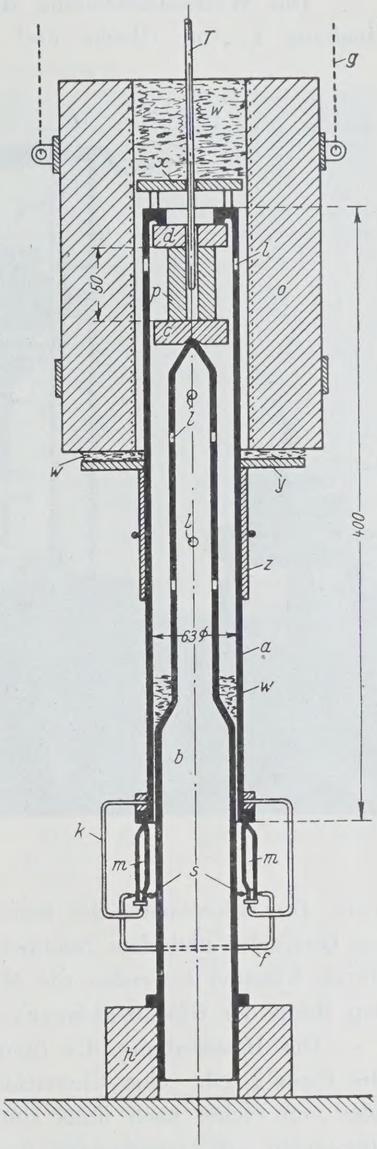


Fig. 1.

Die durchbohrte Probe *p* ist mit ihren planparallel geschliffenen Stirnflächen zwischen zwei Quarzplatten eingefügt, von denen die untere (*c*) mit einer körnerartigen Vertiefung auf der halbkugelförmig abgerundeten Spitze des hohlen, 50 cm langen Quarzstempels *b* aufliegt, während die obere (*d*) die Quarzglocke *a* trägt. Alle sich berührenden Flächen der Teile *a*, *d*, *p* und *c* sind sauber eben geschliffen. Quarzstempel *b* dient als Stütze und ist als solche in einem Fuß *h* (Schamottestein) befestigt.

Die Heizung erfolgt durch den an Schnüren *g* über die Glocke senkbaren elektrischen Röhrenofen *o* von Heräus, die Wärmeabdichtung durch Asbestwolle an den Stellen *w* und durch Asbestplatten *x*, *y*, *z*, von denen *z* um die Glocke *a* gelegt ist.

---

[1]) Bei der „Eichung" der im folgenden beschriebenen Vorrichtung festgestellt.

[2]) Vgl. z. B. den von H. S. Honktsworth und J. W. Cobb zur Bestimmung der Wärmeausdehnung feuerfester Materialien benutzten Apparat (*Tonindustrie-Ztg. 1923. S. 563)* und den Apparat von Dr. Steger („Die Bedeutung des Wärmeausdehnungskoeffizienten für die Beständigkeit von keramischen Massen und deren Rohstoffen gegen Temperaturwechsel." Koburg, Müller und Schmidt, 1924), ferner den in *dieser Zeitschrift* **33.** *S. 65. 1913* von A. Leman und A. Werner beschriebenen Apparat.

[3]) Der Apparat ist von der Deutschen Quarzschmelze in Pankow hergestellt. Bei der konstruktiven Ausgestaltung wurde ich von Herrn Dipl.-Ing. Bolm unterstützt.

Zur Messung der Temperatur wird ein Thermometer, Thermoelement oder Widerstandsthermometer T von oben in die Bohrung der Probe eingeführt.

Die Wärmeausdehnung der Probe und Quarzteile bewirkt gegenseitige Verchiebung λ_r von Glocke und Stempel, die mittels der Spiegelapparate gemessen

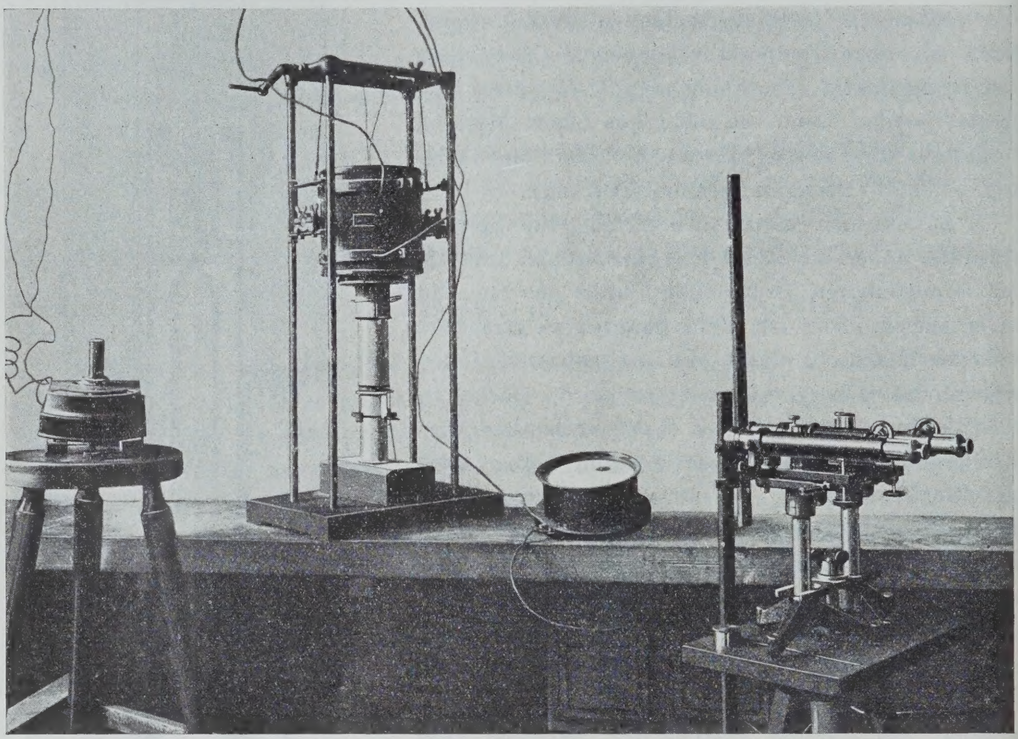


Fig. 2.

wird. Die Schneiden s der letzteren sind zwischen den röhrenförmigen Meßfedern m aus Quarzglas und dem Stempel b angesetzt und durch Federklemme f festgehalten. Durch Klemme k werden die Meßfedern mit dem oberen abgerundeten Ende gegen den Rand der Glocke gedrückt.

Die Handhabung der Spiegelapparate darf als bekannt vorausgesetzt werden. Die Figur 2 gibt eine Übersicht der gesamten Versuchsanordnung. In der Reihenfolge von rechts nach links sind aufgestellt: Fernrohre und Skalen für die Spiegelablesungen, ein Amperemeter, der Ofen mit dem Meßapparat und den Spiegelapparaten und das Galvanometer zur thermoelektrischen Temperaturmessung.

Zur Berechnung der Wärmeausdehnung λ aus λ_r ist noch die Kenntnis der Ausdehnung λ' der Quarzteile des Apparats erforderlich. Da λ_r im Sinne der Aufwärtsbewegung, λ' im Sinne des Senkens der Glocke einzuführen ist, so gilt:

$$\lambda = \lambda_r + \lambda'. \qquad 1)$$

λ' findet sich durch den „Eichversuch“, bei dem Probe p durch einen Quarzzylinder gleicher Länge (normal 5 cm) ersetzt wurde. Sei λ_q die Ausdehnung des Quarzzylinders, λ_r' die bei der Eichung beobachtete (im Sinne einer Aufwärtsbewegung der Glocke erfolgende) relative Verschiebung der Glocke gegen den Stempel, so ist

$$\lambda_q = \lambda_r' + \lambda', \quad \text{also} \quad \lambda' = \lambda_q - \lambda_r' \qquad 2)$$

und nach Einführung dieses Ausdrucks in Gl. 1):

$$\lambda = \lambda_r + \lambda_q - \lambda_r'. \qquad 3)$$

Wärmeausdehnung einer Messingstange.

Meßlänge $\mathfrak{L} = 5$ cm.

Versuchs-einrichtung	Versuchsreihe		Bedeutung der Werte	Wärmegrade t in °C: 20	100	200	250	300	350	400	450
a	1	erwärmt in Öl	Ausdehnung λ der Probe in $^1/_{100000}$ cm	0	808	1882	2445	—	—	—	—
		abgekühlt „ „		30	—	—	2445	—	—	—	—
b	2	erwärmt in Luft		0	—	—	2415	2993	3644	4279	4968
		abgek. „ „		—	—	—	2445	3068	3672	4299	4968
		erwärmt „ „		—	—	—	2445	3019	3672	4304	5047
		abgek. „ „		93	—	—	2518	3148	3752	4384	5047
c	3	erwärmt in Luft		0	790	1850	2402	—	—	—	—
		abgek. „ „		0	—	1832	2402	—	—	—	—
	4	erwärmt „ „		0	—	—	—	2942	3567	—	4869
		abgek. „ „		71	—	—	—	2997	3627	4247	4869
	5	erwärmt „ „		0	794	—	2427	—	—	—	—
		abgek. „ „		0	—	1851	2427	—	—	—	—
	6	erwärmt „ „		0	—	—	2387	2943	3586	4211	—
		abgek. „ „		— 19	—	—	—	—	3585	4211	—
a	1	erwärmt in Öl	Änderung $\pm \Delta\lambda$	—	(808)	(1074)	563	—	—	—	—
		abgekühlt „ „		—	—	—	2415	—	—	—	—
b	2	erwärmt in Luft		—	—	—	2415	578	651	635	(689)
		abgek. „ „		—	—	—	—	623	604	627	(669)
		erwärmt „ „		—	—	—	—	574	653	632	(743)
		abgek. „ „		—	—	—	2425	630	604	632	(663)
c	3	erwärmt in Luft		—	790	1060	552	—	—	—	—
		abgek. „ „		—	—	—	570	—	—	—	—
	4	erwärmt „ „		—	—	—	—	—	625	—	—
		abgek. „ „		—	—	—	—	—	630	620	622
	5	erwärmt „ „		—	794	—	—	—	—	—	—
		abgek. „ „		—	—	—	576	—	—	—	—
	6	erwärmt „ „		—	—	—	—	556	643	625	—
		abgek. „ „		—	—	—	—	—	—	626	—
a	Mittelwerte		$\Delta\lambda$	—	(808)	(1074)	563	—	—	—	—
b				—	—	—	2420	601	628	632	—
c				—	792	1060	566	[556][1])	633	623	622
a			$\lambda_s = \Sigma \Delta\lambda$	—	(808)	(1882)	2415	—	—	—	—
b				—	—	—	2420	3021	3629	4261	—
c				—	792	1852	2418	—	3617	4240	4862
a	Ausdehnungszahl $\times 10^6$		$\beta_\Delta = \frac{\Delta\lambda}{\mathfrak{L}\,\Delta t}$	—	(20,4)	(21,5)	22,6	—	—	—	—
b				—	—	—	—	24,0	25,1	25,3	—
c				—	19,8	21,2	22,7	—	25,3	25,0	25,0
a			$\beta_s = \frac{\lambda_s}{\mathfrak{L}(t-20)}$	—	(20,4)	(20,9)	21,0	—	—	—	—
b				—	—	—	21,0	21,6	22,0	22,5	—
c				—	19,8	20,6	21,0	—	21,9	22,3	22,6

[1]) Nur ein Wert $\Delta\lambda$ für Erwärmung der Probe (vgl. Anm. 3, S. 378).

λ_q ist aus Versuchen von Scheel, Holborn und Henning u. a. bekannt[1]). Für λ_r' wurden sehr kleine Werte gefunden. Im Mittel war

für $t = 300$	500	700	800	900° C	
$\lambda_r' = 2$	5	13	20	30 $^{cm}/_{100000}$.	

In der Tabelle, S. 377 sind die Ergebnisse von Wärmeausdehnungsmessungen an einer Messingprobe „3 *M*“ zusammengestellt und mit den bereits früher bei Erwärmung und Abkühlung der gleichen Probe im Ölbade (Versuchseinrichtung a) und in einem Luftbade (Versuchseinrichtung b) erhaltenen Ausdehnungen[2]) verglichen. Die neue Vorrichtung Fig. 1 ist in der Tabelle mit „*c*“ bezeichnet.

Die Unterschiede $\Delta\lambda$ der errechneten Probenausdehnung λ sind wieder unter Weglassung des Vorzeichens unter der Höchsttemperatur t der betreffenden Stufe untereinander geschrieben. Die durch bleibende Längenänderungen beeinflußten Zahlen sind eingeklammert. Die Übereinstimmung der aus den Mittelwerten $\Delta\lambda$ für die Stufen Δt gefundenen Ausdehnungszahlen β_Δ und der aus den gesamten Ausdehnungen $\lambda_s = \Sigma\Delta\lambda$ sich ergebenden Ausdehnungszahlen β_s ist für Temperaturen bis zu 250° C eine fast vollkommene. Bei höheren Temperaturen weichen die Ergebnisse der mit den Einrichtungen b und c angestellten Versuche bis zu etwa 1 % voneinander ab, und zwar sind die (zuletzt) mit Einrichtung *c* erhaltenen Werte die kleineren.

Beim Vergleich der Zahlen sind die in der Spalte $t = 20°$ C eingetragenen Dehnungsreste zu berücksichtigen. Während die Reihen 1 und 2 positive Dehnungsreste λ ergaben, sind die Dehnungsreste für Reihe 3 bis 6 teils positiv, teils negativ, oder gleich 0. Das Auftreten bleibender Längenänderungen des Messings bei seiner Erwärmung von 400 auf 450° C wurde auch bei den früheren Prüfungen festgestellt[3]).

Die mitgeteilten Prüfungsergebnisse lassen erkennen, daß das neue Meßverfahren (c) zu brauchbaren Ergebnissen führt und seine Anwendung bei Bestimmung der Wärmeausdehnung zu Bedenken keine Veranlassung gibt.

Zur weiteren Nachprüfung der Genauigkeit des Verfahrens ist beabsichtigt, die vergleichenden Ausdehnungsmessungen auch auf die an anderen Prüfstellen eingeführten Meßvorrichtungen auszudehnen. Ferner sollen Ausdehnungsbestimmungen an Schamotte (bis 900° C) und an Stählen verschiedener Zusammensetzung und Vorbehandlung ausgeführt werden. Bei Stählen wird die Feststellung bleibender Längenänderungen bei hohen Temperaturen von besonderem Interesse sein.

Zur Entwicklung des ausziehbaren Handfernrohrs.

Von

Moritz von Rohr in Jena.

Vor einigen Monaten erwarb die optische Sammlung der Jenaer Werkstätte ein altes Dollondsches Auszugsfernrohr mit achromatischem Objektiv. Seine Auszüge waren aus Pappe angefertigt, und der äußerste trug als auffälligen Schmuck einen Überzug aus Haifisch- oder Rochenhaut, abgeschliffen und nachträglich mit grüner Farbe versehen. Hierbei handelte es sich um einen Brauch, der nach Frau A. Hey-

[1]) Vgl. *Mitteil. a. d. Staatl. Materialprüfungsamt 1920. 2 u. 3. S. 185.*

[2]) *Mitteil. a. d. Staatl. Materialprüfungsamt 1922. 5. S. 219 (Tab. 2).*

[3]) Bezüglich der bei Erwärmung und Abkühlung des Messings zwischen 250 und 350° C beobachteten Anomalie in der Wärmeausdehnung vgl. *Mitteil. a. d. Staatl. Materialprüfungsamt 1922. S. 227.*

mann[1]) bereits für die erste Hälfte des 18. Jahrhunderts belegt ist. Es ist mir nicht bekannt, ob er noch weiter zurückzuverfolgen ist. Diese Nachricht geht auf eine Pariser Quelle zurück, man wird aber nach häufigen Anführungen von Brillenbehältern und ähnlichen Dingen in Fischhaut (*fish skin*) schließen können, daß solche Mode auch in London galt. Ihr erstes Auftreten dort oder gar ihren Erfinder kennen wir vorläufig noch nicht.

Ausgezogen und für ein rechtsichtiges Auge auf ein fernes Ziel eingestellt, maß das Fernrohr 135 cm, zusammengeschoben 39 cm; das äußere Rohr allein war, wie die Fig. 1 zeigt, 35 cm lang. Der freie Durchmesser des Objektivs betrug 42,8 mm, die Vergrößerung hatte den Wert von 16, so daß sich 2,7 mm als Durchmesser der Austrittspupille ergaben. Das Gewicht ist mit 635 g anzugeben. Die ursprünglich mit vergoldeten Lettern gedruckte Firmenbezeichnung befand sich auf dem ersten Drittel des untersten Auszuges. Die äußeren Enden der Auszüge tragen messingne Schutzringe, das Objektiv ist durch einen Deckel gesichert.

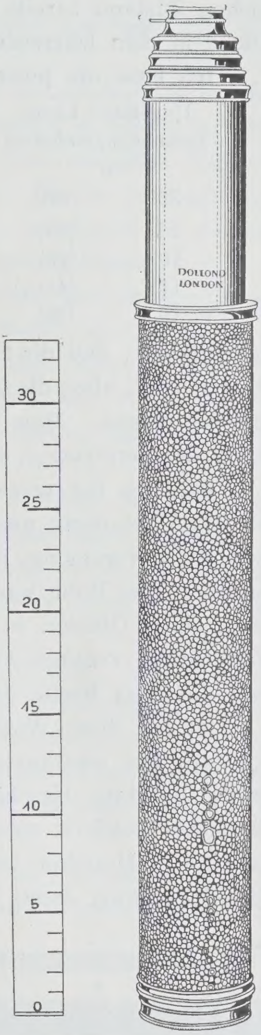


Fig. 1. Älteres Dollondsches Zugfernrohr mit 4 pappenen Zügen und pappenen Außenrohr in grüner Fischhautbekleidung. Vermutlich vor 1780.

Mit der Verwendung von Pappe für Auszugsfernrohre griff man in London auf in ursprünglich venezianisches Verfahren zurück, das bereits in dem 1618 veröffentlichten Buche des Hieronymus Sirturus[2]) belegt ist. Es wird sich zu jener Zeit dort vielleicht um einen Gegensatz gegen eine möglicherweise aus den Niederlanden bekannt gewordene Übung handeln, denn wir lesen — man sehe die Übersetzung auf S. 397 rechts oben — daß sich der Graf von Fuentes 1609 ein aus dem Auslande eingeführtes einfaches Rohr in Silber fassen ließ. Auch G. Galilei hatte ungefähr um dieselbe Zeit sein Himmelsfernrohr in ein Metallrohr, eine Bleiröhre, fassen lassen. Das geringe Gewicht und die verhältnismäßig große Haltbarkeit der pappenen Auszugsrohre nach venezianischem Brauch hatte diese Fassungsart weit verbreitet, und sie waren sicherlich in Deutschland und Italien, wahrscheinlich aber auch in Holland, um den Ausgang des 17. Jahrhunderts ganz gewöhnlich. Die außen sichtbaren Enden der pappenen, vielfach mit einer Art Pergamentpapier umklebten Auszüge erhielten in der Regel eine auf der Drehbank hergestellte Hornbewehrung, doch wurde es allmählich üblich, vor dem Objektiv und hinter der Augenlinse ein Messingstück mit einem zum Verschluß dienenden Metallschieber anzubringen.

Diese alte Art der Fassung, die sich im Laufe der Zeit ziemlich fest ausgebildet hatte — namentlich von norditalienischen Meistern haben sich sehr schöne Stücke in solcher Ausführung erhalten — ist, bis auf die Hornbewehrung, von dem Dollondschen

[1]) Man sehe den genauen Titel der prächtig ausgestatteten Veröffentlichung in *dieser Zeitschr.* **37.** *S. 90. 1917.* Hier kommt besonders S. 29 in Betracht, woselbst diese Arbeiten dem älteren GALUCHAT zugeschrieben werden.

[2]) Man sehe daselbst auf S. 69. Eine Übersetzung dieser Stelle ins Deutsche findet man in der *Deutsch. Opt. Wochenschr.* **9.** *S. 399. 1923.*

Hause übernommen worden, wofür wir in einer sogleich zu besprechenden Geschäftsmitteilung einen vollgültigen Beweis haben. Die frühere Geschichtsforschung hat einen solchen Zustand bereits an Sammlungsstücken aufgewiesen. Wir finden vier solcher Stücke in dem lehrreichen und schönen Aufsatze Hrn. D. Baxandalls[1]).

Ich lasse die jener Mitteilung entnommenen Maße folgen:

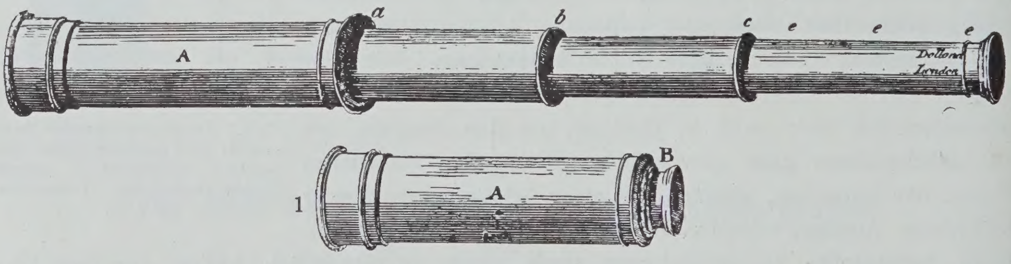
Ungefähre Länge zusammengeschoben in Zoll	[cm]	Öffnungsdurchmesser des achr. Objektivs in Zoll	[cm]	Vergrößerung	[Durchmesser der A.-P. in mm]
12	[30]	0,875	[2,2]	14	[1,6]
10,4	[26]	1,6	[4,1]	12	[3,4]
$17\frac{1}{2}$	[$44\frac{1}{2}$]	1,375	[3,5]	24	[1,5]
10,4	[26]	0,6	[1,5]	8	[1,9]

und bemerke, daß die Schutzrohre bei allen diesen vier Stücken außen mit Fischhaut bezogen sind, aber die Züge an den außen sichtbaren Rohrenden eine messingne Bewehrung trugen. Man vermied auf diese Weise die den Hornringen leider drohende Gefahr des Zerplatzens, deren Spuren so viele heutige Sammlungsstücke dieser Art zeigen.

Aus den für unsere Neuerwerbung angegebenen Maßzahlen kann man folgern, daß die Ausstattung unseres Stückes den vier aus älterem englischen Besitz bekannten noch etwas voranging, daß es sich also möglicherweise um ein etwas späteres Stück handelt. Das Rohr war seinerzeit nach Rußland verkauft worden, hatte seinem Besitzer, einem Offizier, in den Befreiungskriegen gedient und war 1815, vermutlich als offensichtlich veraltet, in Torgau zurückgelassen worden, von wo es vor kurzem durch Kauf aus dem Besitz des Hrn. Otto Egert in unsere Sammlung überging.

Ist auf diese Weise ein einigermaßen früher Zustand der Dollondschen Handfernrohre mit achromatischen Objektiven geschildert, so kann man nunmehr auf die bereits berührte Geschäftsmitteilung des Dollondschen Hauses eingehen, die ein glückliches Geschick ebenfalls unserer Sammlung zugeführt hat. Wir erwarben nämlich vor einigen Monaten von Hrn. F. M. Feldhaus eine in französischer Sprache abgefaßte Mitteilung, deren Überschrift lautet:

2



1

Fig. 2. Verkleinerte Wiedergabe der beiden Darstellungen (2 u. 1) am Kopf des alten Dollondschen Flugblatts einer noch unbestimmten Ausgabezeit.

DESCRIPTION
DE LA
LUNETTE ACHROMATIQUE
Faite avec des TUYAUX GLISSANTS de CUIVRE,
Par P. & J. DOLLOND, OPTICIENS,
DANS
Le Cimitière de St. PAUL à LONDRES.

[1]) *Early telescopes in the Science Museum, from an historical standpoint. Trans. Opt. Soc.* **24.** *S. 304/20, 13+. 1922/23.* Referat in *dieser Zeitschr.* **44.** *S. 324. 1924.*

Der Wortlaut des ganzen Blattes stellt sich in sorgfältiger Übersetzung dar wie folgt:

Beschreibung des achromatischen Fernrohrs mit messingnen Auszügen von den Optikern P. & J. Dollond am St. Pauls-Friedhof zu London.

Das allgemeine Verfahren, die Auszüge für Handfernrohre herzustellen, verwandte mit Velinpapier[1]) bezogene Pappe; da man aber bei diesen Rohren verschiedene Mißstände infolge der Luftfeuchtigkeit fand, so macht man sie jetzt aus ganz dünnem Messing, und das Außenstück aus Mahagoni oder aus Messing. Da sie sich sehr bequem tragen lassen und man sich ihrer schnell bedienen kann, so eignen sie sich besonders für Offiziere, und man nennt sie aus diesem Grunde *Heeres-Fernrohre.*

Die Auszüge sind alle so eingerichtet, daß sie sich nicht über ihre richtige Länge hinaus ausziehen lassen, und wenn man also mit der einen Hand das Außenrohr *A* auf dem Bilde 1 und mit der andern das Ende *B* des kleinsten Auszuges faßt, so läßt sich das Fernrohr *mit einem Zuge* auf seine Länge bringen, wie das in Bild 2 dargestellt ist; ferner kann ein beliebiger Auszug beim Durchschauen ein wenig verschoben und das Ziel deutlich eingestellt werden.

Damit die Auszüge sanft gleiten, treten sie alle durch federnde Schiebehülsen oder kurze, in Bild 2 bei *a*, *b* und *c* angeschraubte Rohre. Diese federnden Schiebehülsen lassen sich von den Auszugsenden mittels vorspringender, gerändelter Ringe abschrauben, und man kann die einzelnen Auszüge herausnehmen, wenn man es für nötig findet.

Dieses achromatische Fernrohr hat vier sammelnde Okular[linsen], deren Flächen und Brennweiten so bemessen sind, daß sie ein sehr großes Gesichtsfeld ergeben. Diese Okular[linsen] sind sämtlich in dem kleinsten Auszug untergebracht; drei bekommt man zu sehen, wenn man den Auszug bei *eee* auseinanderschraubt, und man kommt an die vierte am Ende des Auszugs, wenn man die federnde Schiebehülse bei *c* abschraubt.

Diese Fernrohre sind von vier verschiedenen Längen und Größen, und zwar heißen sie kurz Fernrohre von 1, 2, 3 und 4 Fuß; indessen sind zu größerer Genauigkeit die Ausmaße usw. wie folgt angegeben.

Länge ausgezogen in Zoll	[cm]	Länge zusammengeschoben in Zoll	[cm]	Öffnungsdurchmesser des achr. Obj. in Zoll	[cm]	Vergrößerung	[Durchmesser der A.-P. in mm]	Gewicht in Unzen	[g]
14	[35]	5	[13]	1,1	[2,8]	22	[1,3]	6	[170]
28	[71]	9	[23]	1,6	[4,1]	35	[1,2]	16	[454]
40	[102]	10	[25]	2,0	[5,1]	45	[1,1]	30	[850]
52	[132]	14	[35]	2,75	[7,0]	55	[1,3]	64	[1815]

Man erkennt aus dieser Mitteilung, die leider keine Zeitangabe führt, den aus den Sammlungsstücken bereits gefolgerten Zustand, daß die frühere Form der berühmten Dollondschen farbenfreien Handfernrohre mit Auszügen aus Pappe versehen war. Eine entsprechende frühere Mitteilung in englischer Sprache, die man doch wohl erwarten dürfte, hat sich nach der freundlichen Mitteilung von Hrn. Baxandall bis jetzt nicht gefunden, und es ist vorläufig auch nicht aus andern englischen Quellen der Zeitpunkt genauer bekannt, an dem man zu dieser grundstürzenden Änderung

[1]) Darunter verstand man damals ein festes pergamentartiges Papier.

der äußeren Anlage des Auszugfernrohres überging. Nebenbei sei bemerkt, daß man nach dem Flugblatt merklich kleinere Austrittspupillen zugelassen hat als bei den englischen Sammlungsstücken, oder unserem Dollondschen Pappfernrohre. Daß die Rohrlängen der messingnen Stücke in zusammengeschobenem Zustande kleiner waren, wird nicht weiter überraschen.

Die sicherste Angabe wird man wohl aus Vergleichungen der Anzeigen von Londoner Optikern jener Zeit erhalten, doch wird man verstehen, daß ich hier bei meinen beschränkten Hilfsmitteln nur die ersten Schritte in dieser Richtung habe tun können. Nach den drei hier eingesehenen Preislisten des Hauses von G. Adams[1]) kann man schließen, daß diese messingnen Auszüge noch nicht 1771, bestimmt aber 1787 und 1791 auftreten; übrigens mögen auch in dem letztgenannten Jahre noch Fernrohre mit pappenen, mit Pergamentpapier bekleideten Auszügen auf dem Markt gewesen sein. Die Londoner Ortsforschung müßte wohl in der Lage sein, die zeitlichen Grenzen dieser Unsicherheit enger zu ziehen.

Wir sind mithin hier und heute noch zur ungefähren Festlegung des Ausgabejahres auf weitere Vermutungen und Rückschlüsse angewiesen, und ich wage im nachstehenden zwei, wie mir scheint, wenig bekannte Tatsachen mit den soeben zusammengetragenen Mitteilungen in Verbindung zu bringen. Freilich erlauben auch sie nur einen sehr ungefähren Schluß.

Im Jahre 1919 hatten wir aus dem Hohenzollern-Museum hier zur Untersuchung — mein leider zu früh abgerufener Kollege H. Erfle hat sich eifrig mit der Messung beschäftigt und die scharfsinnig ermittelten Einzelheiten mit sich ins Grab genommen — ein langes Erdfernrohr, das wohl um 1784 bei Dollond für Friedrich den Großen erworben worden war. Die Fassungsart dieses Rohres kann man beschreiben als bestehend aus zwei etwa meterlangen messingnen Rohrstücken, die mittels eines besonders groben Gewindes leicht, schnell und sicher zu einem starren Rohrkörper vereinigt werden konnten. Vielleicht hatte Dollond doch nicht gewagt, für den Gebrauch im Felde eine Auszugslänge von etwa 2 m mittels Pappröhren herzustellen, obwohl man früher nach Hrn. M. Engelmann[2]) mit diesem Werkstoff noch auf wesentlich größere Längen kam. Beispielsweise sind unter den Nrn. 422A, 424, 426, 427, 428A, 428, 429 Pappfernrohre aus der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts aufgeführt, die sich alle über 2 m Länge, in einem Falle bis zu $5^3/_4$ m, ausziehen ließen. Man mag sie aber wohl einer pfleglicheren Behandlung ausgesetzt haben, als das auch bei Felddienstübungen möglich war, vom Kriege ganz zu schweigen. Es wäre also wohl denkbar, daß man sich zur Anfertigungszeit dieses meiner Erinnerung nach um 1784 gelieferten Stückes in der Londoner Werkstätte bemühte, von der Pappe loszukommen und für so große Längen zunächst zu verschraubbaren Rohrpaaren griff.

---

[1]) Ich gebe den ursprünglichen Wortlaut, da die Übersetzung hier nur schaden könnte:

Von 1771: *Acromatic tellescopes either in nurse skin for the pocket or mahogany tubes* (*nurse skin* bedeutet Haifischhaut; nach dem Toussaint-Langenscheidtschen großen Wörterbuch kommen die Arten *Somniosus microcephalus* und *Ginglyostoma cirrata* in Frage).

Von 1787: *Acromatic telescopes with brass drawers.*

Von 1791: *Acromatic telescopes portable and convenient for the pocket, the sliding tubes are of brass and therefore not subject to the inconveniences of those that are made with vellum drawers.*

[2]) Sammlung Mensing: Altwissenschaftlicher Instrumente Katalog. Bearbeitet von *M. E.*, Amsterdam, Fr. Muller & Co. (Ant. W. M. Mensing) 1924, 64 S. $18^1/_2 : 29$ cm, mit Abbildungen auf 12 Tfln. in $25 : 32^1/_2$ cm.

Die zweite hier verwandte Veröffentlichung — sie stammt von Hrn. H. Bühler[1]) und aus dem Herbst des vorigen Jahres — liefert zwar eine gesicherte Zeitangabe, ist aber mit dem Londoner Hause nur auf Umwegen in Beziehung zu setzen. P. L. Guinand, der um das Schmelzverfahren für optisches Glas besonders wohl verdiente westschweizer Fachmann, hat, wie wir dort hören, zwischen 1778 und 1780 mit einem Papparbeiter J. Diedey zusammen an Brillen und Fernrohren gearbeitet, und ein Auszugsfernrohr mit pappenen, hornbewehrten Auszügen ist aufgefunden worden, das man ihm für diesen Zeitraum zuschreiben mag. Daß Guinand sich bei seinen Fernrohren an englische Muster gehalten hat, ist durch alte und gesicherte Berichte über diesen Zweig seiner Tätigkeit belegt. Wie bald er bei der doch immerhin seltenen Verbindung zwischen Neuenburg und London von den einzelnen Verbesserungsversuchen der Londoner Musterbetriebe hörte, ist verständlicherweise heute nicht mehr mit Sicherheit auszumachen. Man wird aber vermuten dürfen, daß in jenen Jahren die Messingrohre, wenn sie überhaupt schon auf dem Festlande regelmäßig abgesetzt wurden, noch nicht so überwogen, daß die von Guinand hergestellten pappenen Auszugsrohre in einfachster Ausstattung unverkäuflich gewesen wären.

Das war um den Ausgang des 18. Jahrhunderts bestimmt anders, wie schon die zahlreichen Ramsdenschen Handfernrohre mit messingnen Zügen beweisen. Sie müssen spätestens den neunziger Jahren des 18. Jahrhunderts zugeschrieben werden, da der tüchtige und kenntnisreiche J. Ramsden im November 1800 starb. Man wird vielleicht nicht sehr fehlgehen, wenn man vorläufig das Auftreten der Dollondschen Neuerung in das letzte Viertel des 18. Jahrhunderts legt und um 1780 herum ansetzt.

Im 19. Jahrhundert war die Verwendung von messingnen Zugfernrohren so selbstverständlich, daß z. B. das zunächst für das europäische Festland, dann für die ganze Kulturwelt maßgebende Benediktbeurner Unternehmen Utzschneiders und Fraunhofers gleich von vornherein die neuere englische Form übernahm und, soweit bekannt, pappene Auszugsrohre gar nicht mehr geliefert hat. Seine erste Preisliste ist im Jahre 1811 erschienen.

Ganz bestimmt aber haben wir das achromatische Erdfernrohr mit Auszügen, das seit dem 6. Jahrzehnt des 18. Jahrhunderts den Markt beherrscht hat, nicht nur mit seiner optischen, sondern auch mit seiner endgültigen äußeren Ausstattung von England erhalten. Es hat sich im größten Teile des 19. Jahrhunderts unangefochten behauptet und ist in seinem Besitzstande erst durch die seit 1893 von E. Abbe in Jena nach ihrer inneren und äußeren Form entwickelten und regelmäßig hergestellten Prismen-Doppelfernrohre mit Erfolg angegriffen worden. Ganz so wie bei dieser Anlage die in Jena ausgebildete Form nicht vernichtet werden kann, sondern — von in- und ausländischen Fernrohrwerken nachgeahmt werden muß, müssen wir für den genannten Zeitraum eine Dankesschuld der gesamten Kulturwelt an das Dollondsche Haus feststellen: denn dort ist die seinerzeit auf dem ganzen Erdkreis verbreitete Form des Erdfernrohrs mit messingnen Auszügen festgelegt und in die Welt gesetzt worden.

---

[1]) *L'œuvre de Pierre-Louis Guinand.* (*Conf. faite le 30 août 1924 à la Soc. d'hist. et arch. du Cant. de Neuch.*) *Rev. Intern. de l'Horl. 1924* ... (*15. IX. u. I. X.*) hier nach dem S.-A. *23 S. kl.-8⁰.*

Lichtstärke und Sichtvermögen von Ferngläsern.

Von

Hugo Moeller in Wedel (Holstein).

Die Lichtstärke von Ferngläsern wird bisher allein aus der Größe der Austrittspupille berechnet, ohne weitere hierfür in Betracht kommende Momente zu berücksichtigen. Mit Austrittspupille bezeichnet man den im Okular sichtbaren Kreis, wenn man das Fernrohr in 25—30 cm Entfernung gegen den Himmel oder eine helle Fläche hält. Die Größe der Austrittspupille (Abbildung der Objektivöffnung durch das Okular) ist abhängig von dem Objektivdurchmesser und der Fernrohrvergrößerung. Ein Prismenglas mit 24 mm Objektiv hat bei 6maliger Vergrößerung eine Austrittspupille von 4 mm, bei 8facher Vergrößerung 3 mm Durchmesser. Das Quadrat dieser in mm gemessenen Zahl bezeichnet man mit geometrischer Lichtstärke. Offensichtlich soll damit eigentlich die Flächengröße der Austrittspupille erfaßt werden, die Berechnung hierfür stimmt aber nicht, denn die Kreisfläche beträgt nach der Formel $r^2\pi$ für 3 mm Austrittspupille $1{,}5 \cdot 1{,}5 \cdot 3{,}14159 = 7{,}07$ qmm, die gebräuchliche Berechnung der geometrischen Lichtstärke ist dagegen $\beta \times 3 = 9$. Bei 4 mm ist die Flächengröße $2 \cdot 2 \cdot 3{,}14159 = 12{,}57$, gebräuchliche Berechnung $4 \cdot 4 = 16$ geometrische Lichtstärke. Durch die einfache Erhebung zum Quadrat der Größe der Austrittspupille gelangt man irrtümlicherweise zu falschen, größeren Zahlen. Trotz dieses Fehlers ist diese Berechnung allgemein eingeführt worden. Bei Ferngläsern mit größerem Objektiv vergrößert sich die Austrittspupille und hiermit auch die Lichtstärke. Ein Fernrohr mit 30 mm Objektiv hat bei 6facher Vergrößerung 5 mm Austrittspupille, geometrische Lichtstärke 25, nach der Flächengröße jedoch nur 19,63.

Die in jedem Fernglas mehr oder weniger vorhandenen erheblichen Lichtverluste sind hierbei noch nicht berücksichtigt worden. Der große Kreis der nicht fachmännisch gebildeten Käufer von Prismengläsern ist bisher in den Preislisten über diese großen Lichtverluste nicht aufgeklärt worden. Der Grund mag wohl darin liegen, daß die Hersteller von Prismengläsern auf die hierin vorhandenen größeren Lichtverluste gegenüber den früher für Handgebrauch allein benutzten Galileigläsern nicht besonders aufmerksam machen wollten. Die Lichtverluste sind nun aber einmal vorhanden und müssen auch unbedingt in Betracht gezogen werden. Sie entstehen durch Absorption in den eingebauten Gläsern und durch Reflexe an jeder polierten Glasfläche beim Strahlendurchgang. Die Absorptionsverluste sind verhältnismäßig gering von knapp 5% bis ca. 10% für 100 mm Glasweg je nach Durchlässigkeit des meistens für Ferngläser zur Anwendung kommenden Glasmaterials. Die Reflexverluste sind erheblich größer, und zwar an jeder Durchgangsfläche von Luft in Glas oder umgekehrt für Kronglas n_D 1,51 ca. 4% und für Flint n_D 1,57—1,58 ca. 5%, bei höher brechenden Gläsern mehr. Durch Rechnungen und photometrische Messungen ist die Lichtdurchlässigkeit für in Deutschland gefertigte Handfernrohre festgestellt worden:

Galileigläser	mit 4 Grenzflächen zwischen Luft und Glas . . .	ca. 80%
Dachkantprismengläser	„ 8 „ „ „ „ „ . . .	ca. 66%
Porroprismengläser	„ 10 „ „ „ „ „ .	ca. 55—60%
Porroprismengläser	„ 12 „ „ „ „ „ . . .	ca. 53%

Die Güte der Verarbeitung und die Art der verwendeten optischen Gläser ist hierfür von Einfluß, die Fabrikate verschiedener Firmen weisen laut photometrischen Messungen größere Unterschiede auf. Ausländische Fabrikate haben teilweise in normalen Prismengläsern weniger als 50% Lichtdurchlässigkeit.

Im Laufe der Jahre hat es sich eingebürgert, die für die geometrische Lichtstärke angegebene Zahl auch als wichtigsten Maßstab für die optische Leistung, das Sichtvermögen eines Prismenglases, anzusehen. Die geometrische Lichtstärke ist hierfür allerdings von wesentlicher, aber nicht allein ausschlaggebender Bedeutung. Neben der mit Berücksichtigung der Lichtdurchlässigkeit sich ergebenden Lichtstärke wird das Sichtvermögen erheblich beeinflußt durch die Bildqualität, Schärfe-Färbung-Achromatismus und Brillanz des Bildes. Letztere Eigenschaften lassen sich aber leider nicht zahlenmäßig, sondern nur durch subjektive Beobachtung beurteilen, optische Daten für das Sichtvermögen gibt es daher nicht.

Durch die einfache Quadraterhebung der Austrittspupille wird künstlich ein viel zu großer Unterschied gemacht in der Lichtstärke von Gläsern mit kleiner und großer Austrittspupille. Es werden z. B. vielfach Prismengläser benutzt mit 2,5 mm Austrittspupille, geometrische Lichtstärke 6,25. Bei gutem Tageslicht genügt diese Austrittspupille den Anforderungen vollauf, da die menschliche Augenpupille bei hellem Tageslicht nur 2—3 mm groß ist und sich erst in der Dämmerung auf 4—5 mm erweitert. Wenn man nun ein Prismenglas gleicher Vergrößerung, jedoch 5 mm Austrittspupille, geometrische Lichtstärke 25, zum Vergleich heranzieht, so muß der Laie annehmen, daß dieses Glas mit scheinbar 4facher Lichtstärke auch das 4fache leistet. Das Verhältnis der geometrischen Lichtstärken beider Gläser 6,25 : 25 resp. 1 : 4 ist offensichtlich durch die Quadratberechnung übertrieben vergrößert. Das Verhältnis der beiden Austrittspupillen 2,5 : 5 muß bestimmt als richtigerer Maßstab für die Lichtstärke und für das Sichtvermögen angesehen werden. Außerdem ist auch noch die Lichtdurchlässigkeit in Betracht zu ziehen, welche für die kleineren Gläser mit kürzerem Glasweg höher ist.

Die offensichtlichen Fehler in der Berechnung der Lichtstärke sind bereits von vielen Fachleuten und Wissenschaftlern erkannt worden. Die Aufstellung einer richtigeren Formel für die Berechnung der Lichtstärke von Handfernrohren ist in das Arbeitsprogramm der Phys.-Techn. Reichsanstalt aufgenommen worden. Das englische Physical Laboratory wendet schon eine andere Berechnung der Lichtstärke an. Diese neben der Phys.-Techn. Reichsanstalt und dem Bureau of Standards in Washington als führend in der Welt anerkannte Behörde mißt für die Lichtstärke nicht nur die Austrittspupille, sondern auch die Lichtdurchlässigkeit, wie sich aus dem folgenden Auszug aus einem Prüfungsschein für ein Möller Tourix 6fach Nr. 12697 ergibt:

„Lichtdurchlässigkeit: Die prozentuelle Lichtdurchlässigkeit des Achsenstrahles beträgt 66%. Diese Zahl ist erheblich größer als bei den gebräuchlichen Prismengläsern.

Lichtstärke: Zum Zwecke der Feststellung der „Lichtstärke“ eines Instrumentes wird diese verglichen mit der idealen Lichtdurchlässigkeit von 100% bei 7 mm Austrittspupille, so daß die Lichtstärke gleich der prozentuellen Lichtdurchlässigkeit ist bei 7 mm oder größerer Austrittspupille. Falls die Austrittspupille kleiner ist als 7 mm, beträgt die Lichtstärke das Quadrat des Durchmessers derselben multipliziert mit der prozentuellen Lichtdurchlässigkeit und dividiert durch 49. Das Tourix Nr. 12697 mit 3,5 mm Austrittspupille hat eine Lichtstärke von

$$\frac{66\% \cdot 12{,}25}{49} = 16{,}5\%.$$

Die korrespondierende Lichtstärke von Prismengläsern der gebräuchlichen Type (Porroprismengläser) beträgt für 21 mm Objektiv bei 6facher Vergrößerung 13%.“

Austrittspupille von 7 mm scheint als Vergleichsmaßstab genommen zu sein, weil die menschliche Augenpupille sich normal nicht weiter öffnet in tiefster Dunkelheit.

Die Berechnung des Phys. Laboratory ist entschieden eine Verbesserung, sie hat aber den Mangel, für den Laien nicht leicht genug verständlich zu sein und eine längere Rechnung zu erfordern. Eine andere Berücksichtigung der Lichtdurchlässigkeit für die Lichtstärke ist gegeben durch die einfache Multiplikation der geometrischen Lichtstärke mit der Verhältniszahl der Lichtdurchlässigkeit.

Austrittspupille	2,5;	geometr. Lichtst. 6,25;	Lichtdurchl.	58%;	$6{,}25 \cdot 0{,}58 = 3{,}63$
„	2,5;	„ „ 6,25;	„	66%;	$6{,}25 \cdot 0{,}66 = 4{,}13$
„	5,0,	„ „ 25,00;	„	58%;	$25{,}00 \cdot 0{,}58 = 14{,}5$

Bei dieser Berechnung bleibt die ungünstige Verhältniszahl zwischen den Prismengläsern mit 6,25 und 25,0 geometr. Lichtstärke unverändert bestehen, ein annähernd zuverlässiger Maßstab für den vom Auge empfundenen Lichtstärkenunterschied ist nicht vorhanden.

Für die Lichtstärkenangabe handelt es sich nur darum, die Größe der Austrittspupille und die Lichtdurchlässigkeit in einer Zahl zu vereinigen, welche diese beiden Faktoren für jedermann verständlich und kontrollierbar im richtigen Verhältnis berücksichtigt. Dieses ist einfach und leicht verständlich möglich durch die Multiplikation der Größe der Austrittspupille mit der Lichtdurchlässigkeit. Um nicht zu große unhandliche Zahlen zu erhalten, wird die Lichtdurchlässigkeit dann nicht auf 100, sondern auf 10 bezogen, statt 58% also 5,8 usw.

Für 2,5 mm	Austrittspupille,	58%	Lichtdurchl.,	$2{,}5 \cdot 5{,}8 = 14{,}5$ Lichtstärke
„ 2,5 „	„	66%	„	$2{,}5 \cdot 6{,}6 = 16{,}5$ „
„ 5,0 „	„	58%	„	$5{,}0 \cdot 5{,}8 = 29{,}0$ „

In der folgenden Aufstellung ist die Lichtstärke nach den bisher angewendeten Methoden und nach der zuletzt angegebenen Berechnung für verschiedene Prismengläser aufgeführt.

Prismenglas mit	Objektiv mm	Vergrößerung	Austrittspupille mm	Lichtdurchlaß %	Geometr. Lichtstärke	Lichtstärke Physical Laboratory %	Lichtstärke nach obiger Berechnung
1. Porropr.	15	6	2,5	58	6,25	7,4	14,5
2. Dachkantpr. . .	15	6	2,5	66	6,25	8,42	16,5
3. Porropr.	24	6	4,0	58	16,0	18,95	23,2
4. Dachkantpr. . .	24	6	4,0	66	16,0	21,55	26,4
5. Porropr.	30	6	5,0	58	25,0	29,59	29,0
6. Porropr.	42	6	7,0	58	49,0	58,0	40,6
7. Weitw. Porropr.	24	8	3,0	53	9,0	9,73	15,9
8. Dachkantpr. . .	24	8	3,0	66	9,0	12,72	19,8

In den Daten der letzten Rubrik sind die Werte für die Lichtstärke der Prismengläser mit kleinem Objektiv höher und mit großem Objektiv niedriger geworden gegenüber den anderen Berechnungen. Das Verhältnis ist in der letzten Spalte so, daß es einen richtigeren Maßstab für die Lichtstärke bei Berücksichtigung der Lichtdurchlässigkeit darstellt. Eine allgemeine Einführung dieser Berechnung ist wohl zu empfehlen, alle Unklarheiten werden hierdurch beseitigt, dieselbe ergibt auch einen besseren Anhalt für die optische Gesamtleistung.

Neben der Lichtstärke nach obiger Berechnung hat die Bildqualität für das Sichtvermögen, die optische Gesamtleistung, eine wesentliche Bedeutung. Besonders scheinen außer der Bildschärfe die durch die Anzahl und die Lage der Glasflächen in dem Strahlengang verursachten Reflexerscheinungen für die Bildwirkung von größerem Einfluß zu sein. Je mehr Glasflächen in den Strahlengang eingeschaltet werden, um so unklarer ist das Bild, je weniger, um so brillanter. Von einem Prismenglas wird bekanntlich niemals die Brillanz des Bildes erreicht, die ein Galileiglas mit 4 Grenzflächen zwischen Luft und Glas aufweist. Der Hauptübelstand dieser Gläser ist das überaus kleine Gesichtsfeld, besonders bei stärkeren Vergrößerungen. Ein Dachkantprismenglas mit 8 Grenzflächen zwischen Luft und Glas hat ebenfalls ein brillanteres Bild als ein Porroglas mit 10 oder gar 12 Grenzflächen. Bei der Prüfung des Möller-Tourix 6fach mit 22 mm Objektiv ist z. B. von vielen Beobachtern festgestellt worden, daß es bei Tage und in der Dämmerung das gleiche Sichtvermögen aufweist, wie die erheblich größeren Porroprismengläser 6fach mit 30 mm Objektiv. Erklären läßt sich diese hohe optische Leistung nicht durch die größere Lichtdurchlässigkeit allein, da die Lichtstärke gegenüber den 30-mm-Porrogläsern nach obiger Berechnung kleiner ist. Die größere Brillanz des Bildes sowie die richtigere Bildfärbung durch Anwendung des farblos hellen Borosilikatkrons für das Möller-Dachkantprisma dürfte diese Steigerung der optischen Leistung veranlassen. Es ist außerdem durchaus noch nicht festgestellt, ob der Erweiterung der Austrittspupille oder der Steigerung der Lichtdurchlässigkeit die größere Bedeutung für das Lichtvermögen zukommt. Man muß schon annehmen, daß die durch den Rand der Augenlinse bis auf 5—7 mm erweiterte Augenpupille gehenden Lichtstrahlen nicht von der gleichen Wirkung auf das Lichtvermögen sind wie die Steigerung der Helligkeit. Das menschliche Auge ist normal auf 2—3 mm Durchmesser der Pupille eingestellt und leistet bestimmt in dieser Größe am meisten bei entsprechender Helligkeit. Die Erweiterung in der Dunkelheit ist nur ein behelfsmäßiger Versuch, den Lichtverlust nach Möglichkeit auszugleichen.

Am besten dürfte es ohne Frage sein, wenn eine Meßmethode ausgearbeitet werden könnte, welche einwandfreie Daten für das Sichtvermögen, die optische Gesamtleistung ergeben würde. Für den Gebraucher eines Fernglases ist es von größtem Interesse, schon vor der Anschaffung eines solchen Instrumentes aus den Preislisten richtige Daten für das Sichtvermögen ersehen zu können. In der Praxis kommt es nur darauf an, festzustellen, was ein Prismenglas leistet, was der Beobachter damit sehen kann.

Ein neuer Monochromator mit Vorzerleger, für das Gebiet von 200 mμ bis 2 μ.

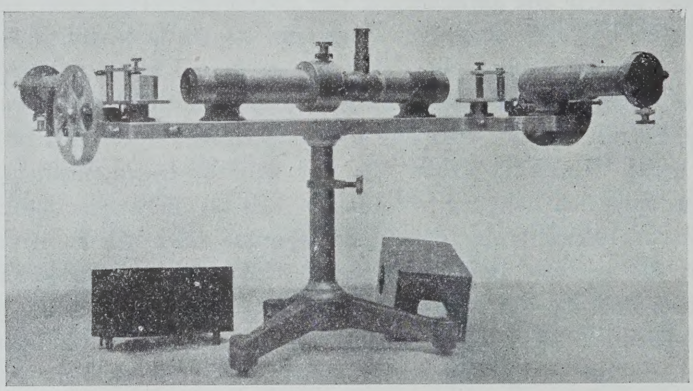
Von
Carl Leiss in Berlin-Steglitz.

Zur Erzielung höchster spektraler Reinheit, wie sie bei gewissen Untersuchungen erforderlich ist, reicht bekanntlich ein einziger Monochromator nicht aus, denn er läßt außer der durch den Sekundärspalt „herausgegriffenen“ Spektralzone auch noch Licht anderer Wellenlänge durch, wovon man sich leicht durch Vorhalten eines Taschenspektroskopes überzeugen kann. Man hat deshalb bisher in all den Fällen, in denen es auf hohe spektrale Reinheit ankam, zwei hintereinander geschaltete Spektralapparate oder Monochromatoren angewendet, von denen der erste dann als „Vorzerleger“ diente. Eine derartige Apparatur hat eine gewisse Unbequemlichkeit und Umständlichkeit.

Angenehmer ist es, zwei Apparate in einem zusammenhängenden Apparat zu vereinigen, wie dies bei dem nachfolgend kurz beschriebenen Apparat von mir geschehen ist.

Beschreibung: Da sich der Apparat gewissermaßen aus 2 Apparaten aufbaut, werden wir den Apparat I kurzweg als I und den Apparat II als II bezeichnen. Wie jeder andere Monochromator bestehen beide Teile I und II aus Eintrittsrohr, Dispersionssystem und Austrittsrohr.

Sowohl für das sichtbare wie für das U. V.-Gebiet kommen als Dispersionssysteme Prismen mit konstanter Ablenkung von 90^0 zur Anwendung. Die Prismen für das sichtbare Gebiet haben zwischen C—F eine Dispersion vnn $3^0\,25'$, die Quarzprismen für das U.V.- und U.-Rot-Gebiet eine Dispersion von $9^0\,45'$ von 200—600 mμ. Die Prismen sind auf Metallplatten befestigt, mit deren Hilfe sie rasch und leicht gegeneinander ausgewechselt werden können.



An Spalten sind vorgesehen: der Primärspalt, ferner der Sekundärspalt des Vorzerlegers und gleichzeitig der Primärspalt des eigentlichen Monochromators, sowie der zweite Sekundärspalt. Unbedingt erforderlich ist auch der letztere Sekundärspalt nicht in allen Fällen. Wenn z. B. der Untersuchungsapparat ein Spektrometer o. dgl. mit Eintrittsspalt ist, so kann dieser auch als zweiter Sekundärspalt dienen. Er muß nur gut in der Bildebene des zugehörigen Objektives stehen. — Die Spalte sind symmetrisch und mit Teiltrommel für eine direkte Ablesung von 0,04 mm versehen, 0,01 mm können aber mit Sicherheit geschätzt werden. — Auf den Sekundärspalt von II kann sowohl beim Gebrauch des Apparates im sichtbaren wie im U.V.-Gebiet eine Röhre aufgesteckt werden, die eine verschiebbare Linse trägt, mit der man entweder in ihrer doppelten Brennweite ein Bild des Spaltes erzeugt, oder aus der ein paralleles Strahlenbündel austritt. Bei der Röhre mit Quarzlinse sind auf das Rohr zwei Wellenlängenskalen zur Einstellung der Linse für die verschiedenen Lichtarten aufgetragen.

Als Objektive kommen für das sichtbare Gebiet vier Achromate mit 25 mm freier Öffnung bei $f = 160$ mm zur Anwendung, für das U.V.- und U.-Rot-Gebiet plankonvexe Quarzlinsen von 30 mm freier Öffnung und $f = 160$ mm für Na-Licht. Die Größe der Prismen ist in beiden Fällen so bemessen, daß die Objektive voll mit Licht erfüllt sind. Bei Apparaten, die mit Quarzoptik ausgerüstet sind, werden die Objektive verschiebbar eingerichtet, und die Stellung für die verschiedenen Gebiete sind an Wellenlängenteilungen ablesbar.

Das Prisma des Vorzerlegers I wird durch eine Schraube mit einer Trommel, die in 360^0 geteilt ist, bewegt. Um sich mit Hilfe dieser Trommel eine Eichkurve her-

zustellen, befindet sich hinter dem Sekundärspalt eine auswechselbare Lupe mit Prisma, mit der man Spalt und Spektrum gleichzeitig scharf erblickt. Die Trommel kann natürlich auch als Wellenlängentrommel ausgebildet sein.

Das Prisma des eigentlichen Monochromators II wird durch eine Spiralnuttrommel mit Wellenlängeneinteilung ganz nach Art der von mir in *dieser Zeitschr.* ***41.*** *S. 242. 1921* beschriebenen Apparate bewegt. Um auch den Teil II bzw. die Teiltrommel kontrollieren und berichtigen zu können, befindet sich vor dem Sekundärspalt ein ein- und ausschaltbares totalreflektierendes Prisma, um das Licht einer seitlich aufgestellten Röhre oder eines Funken in den Apparat zu leiten.

Die nötigen optischen Daten dieses Apparates sind nahezu die gleichen wie die der Apparate, die in vorerwähnter Mitteilung ab *S. 243* und ab *S. 248* von mir beschrieben wurden.

Die Nachprüfung und Berichtigung des Apparates erfolgt im wesentlichen in gleicher Weise, wie in obiger Arbeit *S. 246* und *250* erläutert ist, wobei man zur Prüfung und Justierung des Teiles I sich der Lupe hinter dem Sekundärspalt bedient und bei der Prüfung und Justierung von II eine Handlupe benützt, mit der man die zur Prüfung dienenden Linien zwischen den Spaltbacken des zweiten Sekundärspaltes beobachtet. Beide Trommeln können unter Festhalten ihrer Drehknöpfe auf der Schraubenachse gedreht werden. Die Prüfung usw. geschieht am besten mit Röhren- oder Funkenlicht, wobei man — wenn der Apparat mit Quarzoptik versehen ist — sich einer kleinen Uranglasplatte am zweiten Sekundärspalt bedient. Auf dieser sieht man die fluoreszierenden Linien mit einer schräg von oben gegen das Uranglas gerichteten Handlupe sehr gut.

Die beiden unten in der Abbildung sichtbaren Lichtschutzkappen werden beim Gebrauch des Apparates über die beiden Prismen gestülpt und durch je drei Schräubchen festgeklemmt.

Chemische Glasprüfungen.

Von

Dr. **W. Tepohl** in Charlottenburg.

Es sei vorausbemerkt, daß im folgenden die bekannten und meist gebrauchten Methoden besprochen werden, die die Eignung einer Glassorte für die ihr zugedachte Verwendung ermitteln sollen, nicht aber die qualitative oder quantitative Zusammensetzung des Glases. Es wird auch meist für die Verwendung eines Glases von geringem oder ganz ohne Interesse sein, die chemische Zusammensetzung desselben zu kennen. Höchst wichtig dagegen ist es, zu wissen, ob ein Glas für die in Betracht kommende Verwendung die nötige chemische Widerstandsfähigkeit besitzt.

Die zuerst allgemein anerkannte und verwandte Prüfungsmethode ist die von A. Weber im Jahre 1879 beschriebene[1]). Weber benutzt die Reifbildung an glatten Glasflächen durch dampfförmige Salzsäure als Kriterium für die chemische Haltbarkeit. Die praktische Ausführung der Probe geschieht folgendermaßen: Die Gläser werden gereinigt und getrocknet unter eine Glasglocke gebracht, in der sich eine Schale mit rauchender Salzsäure befindet. Nach 24-stündiger Einwirkung und ebenso langer Trocknung in reiner Luft zeigen dann die Gläser je nach ihrer Haltbarkeit schwache oder stärkere Beschläge von Chloridkriställchen. Durch Vergleich mit bekannten Gläsern

[1]) *Ann. d. Phys. u. Chem.* ***6.*** *S. 431. 1879.*

kann somit die chemische Widerstandsfähigkeit der neuen Sorten annähernd bestimmt werden. Diese Probe blieb lange Zeit die einzige, die praktisch viel verwandt wurde und wird z. T. noch heute gebraucht. Nach Weber waren es Mylius, Förster, Kohlrausch, Schott u. a., die dem chemischen Verhalten des Glases ihre Arbeit widmeten. Es sei nur kurz gesagt, daß alle Proben im wesentlichen darauf beruhten, die durch Wasser erfolgende Zersetzung (Hydrolyse) der Glasoberfläche an der Abgabe von Alkali (oder anderen Metalloxyden) zu messen. Zur Bestimmung des abgegebenen Alkalis nahm man die verschiedensten Mittel zu Hilfe, so z. B. die Farbreaktion des Jodeosins und kolorimetrische Bestimmungen, Titration, Wägung oder elektrische Leitfähigkeitsmessung[1]).

Alle diese Methoden eignen sich gut zur Feststellung der chemischen Haltbarkeit des Glases gegen Wasser, doch sind sie in der Praxis der Glasindustrie wohl wegen mangelnder Einfachheit nur wenig verwandt worden.

Bei dem heutigen Stande der Glasfabrikation läßt sich nun keine allgemein gültige Probe für die Güte eines Glases in Hinsicht auf das chemische Verhalten geben. Diese Tatsache erklärt sich eben dadurch, daß es eine sehr große Zahl Gläser der verschiedensten Zusammensetzung gibt, an die je nach ihrer Verwendung sehr verschiedene Ansprüche gestellt werden. Grundsätzlich ist zu unterscheiden, ob das zu prüfende Glas als Apparateglas (für Flaschen usw.) oder als optisches Glas (Linsen usw.) gebraucht werden soll. Im ersten Falle muß das Glas möglichst indifferent gegen chemische Angriffe jeder Art sein, während für optisches Glas eine gewisse Empfindlichkeit mit Rücksicht auf die jeweils verlangten optischen Eigenschaften und die dadurch bedingte Zusammensetzung des Glases meist zugelassen werden muß.

Der chemische Angriff auf das Glas kann theoretisch dreifach verschieden erfolgen, nämlich neutral, alkalisch oder sauer. Praktisch lassen sich diese drei jedoch nicht streng trennen, sondern sie gehen teilweise ineinander über. Diese Tatsache wird leicht verständlich, wenn man z. B. bedenkt, daß bei der Einwirkung völlig reinen Wassers die Glasoberfläche eine, wenn auch meist sehr geringe, Menge Alkali abgibt, so daß nunmehr die berührende Wasserschicht schwach alkalisch wird.

Es sei zuerst das Verhalten und die Prüfung von Apparategläsern besprochen. Ihre Widerstandsfähigkeit gegen Wasser ist bei den besseren Sorten groß, so daß sie nur sehr wenig Substanz abgeben. Gegen verdünnte Säuren verhalten sie sich ähnlich wie gegen reines Wasser und gegen starke Säuren noch beständiger. Es bedarf wohl kaum der Erwähnung, daß die Kieselsäure lösende Flußsäure, die natürlich jedes Glas zerstört, hier nicht mitgerechnet wird. Dagegen wirkt Alkali ziemlich stark ein und zersetzt in längeren Zeiträumen die Oberfläche beträchtlich. Es gibt bis jetzt kein Glas, das gegen alkalischen Angriff restlos beständig ist. Die chemische Prüfung des Apparateglases geschieht am einfachsten und zuverlässig nach den Methoden von F. Mylius[2]). Zur vorläufigen Orientierung über die Güte eines Glases eignet sich die Probe mit Phenolphtalein. Man suspendiert dazu 0,1 g Phenolphtalein durch Verreiben im Porzellanmörser mit destilliertem Wasser und füllt zu 1 l auf. Zum Gebrauch wird nach Umschütteln von der trüben Flüssigkeit das nötige Quantum in einem Platin- oder Porzellantiegel einige Minuten gekocht (zur Entfernung der störenden Kohlensäure); dann werden die zu prüfenden Glasrohre damit gefüllt und in ein Wasserbad von 80° gesetzt. Bleibt der Inhalt eines Rohres während 1 Stunde farblos, so ist das Glas

---

[1]) Literaturangaben s. Hovestadt, Jenaer Glas, *S. 347.* G. Fischer, Jena 1900.

[2]) Artikel „Thüringer Glas“ im *Sprechsaal 1923*, Glastechn. Ber. Bd. I. H. 2.

sicher gut, während schwache oder starke Rotfärbung geringeres oder schlechtes Glas anzeigen. Diese Probe dürfte oftmals schon genügen und bei einiger Übung oder bei Anwendung einer roten (alkalischen) Phenolphtalein-Vergleichslösung lassen sich auch kleine Unterschiede gut feststellen. Will man jedoch eine genaue und zahlenmäßige Unterscheidung der Gläser haben, so ist folgendes Verfahren angebracht: Die Proberohre, die zweckmäßig Abmessungen von etwa 2×20 cm haben, werden mit reinem kaltem Wasser ausgespült und mit gutem destilliertem Wasser, von dessen Neutralität man sich vorher überzeugt hat, gefüllt. Alsdann werden die Rohre in ein 80^0 warmes Wasserbad gebracht und dort bei dieser Temperatur 3 Stunden lang gelassen. Danach kühlt man die Rohre rasch ab und titriert den Inhalt mit Jodeosinnatrium und Äther. Die „Lösungsalkalität“ ergibt sich bei guten Gläsern zu etwa 20 bis 100 tausendstel Milligramm Alkali (berechnet auf Na_2O) pro qdm, während weichere und schlechte Gläser bis 600 und darüber abgeben. F. Mylius bezeichnet die Gläser folgendermaßen:

Abgabe pro qdm in $^1/_{1000}$ mg Na_2O:	hydrolytische Klasse:
0— 15	wasserbeständige Gläser
15— 45	resistente Gläser
45—150	härtere Apparatengläser
150—600	weichere Apparatengläser
über 600	mangelhafte Gläser.

Alle Sorten, die sich bei dieser Prüfung als gut erweisen, brauchen im allgemeinen nicht weiter chemisch untersucht zu werden, denn Säuren wirken — wie oben gesagt — nicht anders als reines Wasser, und gegen Alkali ist kein Glas sehr widerstandsfähig. Will man das Verhalten gegen Alkalilösungen genauer wissen, so muß man hierzu besondere Versuche machen. Man kocht etwa 10 cm lange Stücke beiderseits offnes Glasrohr 1 bis 3 Stunden lang in Soda- oder Ätznatronlösung am Rückflußkühler, stellt nach Abspülen mit Wasser und Trocknen bei 150^0 den Gewichtsverlust fest und berechnet die Abnahme pro qdm Oberfläche. Da durch den Alkaliangriff auch Kieselsäure aus dem Glase in Lösung gebracht wird, so sind die Gewichtsabnahmen groß genug, um hinreichend genau bestimmt zu werden. Sie sind selbst bei guten Gläsern nicht unbeträchtlich, jedoch recht verschieden. Oftmals ist bei trocknen Gläsern nach der Alkalibehandlung sogar eine Trübung der Oberfläche zu bemerken.

Handelt es sich nun darum, die chemische Haltbarkeit von Glas zu prüfen, das für optische Zwecke verwandt werden soll, so braucht man zweckmäßig nicht dieselben Methoden. Denn erstens ist optisches Glas meist nicht in Röhrenform vorhanden und zweitens sind die chemischen Einflüsse, denen es normal ausgesetzt ist, andere und mildere. Hier kommt vielmehr eine ebenfalls von F. Mylius[1]) ausgearbeitete Methode zur Bestimmung der „Alkalität“ in Frage. Und zwar wird unterschieden zwischen „natürlicher“ und „Verwitterungs“-Alkalität. Die erstere wird an frischen Bruchflächen des Glases bestimmt, die zweite an Bruchflächen, die man einer siebentägigen Verwitterung bei 18^0 in Luft, die mit Wasserdampf gesättigt ist, ausgesetzt hat. Die Bruchstücke, die man aus gut gekühlten Glaszungen oder besser noch aus polierten Glasplatten vom Format etwa $30 \times 60 \times 6$ mm^3 herstellt, werden in eine orangegelbe Lösung von Jodeosinsäure in wassergesättigtem Äther getaucht und eine Minute lang darin gelassen. Hierbei wird die Glasoberfläche schwach hydrolytisch zersetzt und das

[1]) *Silikatzeitschrift* **1.** *1913. Nr. 1—3.*

frei werdende Alkali bildet mit der Jodeosinsäure ein kirschrotes Salz, das in wässrigem Äther unlöslich ist und somit am Glase haften bleibt. Man spült die Glasstücke in wasserfreiem Äther ab und läßt sie trocknen. Sodann reinigt man vorsichtig die Glasflächen mit Ausnahme der Bruchfläche und löst das auf dieser Fläche befindliche Eosinsalz in schwach alkalischem Wasser (0,1 g Na_2CO_3 auf 1 l). Durch Vergleich mit einer bekannten Lösung läßt sich das Alkali (berechnet auf Na_2O) quantitativ bestimmen. Entsprechend den praktischen Erfahrungen ist die Einteilung der Gläser folgendermaßen getroffen worden:

Verwitterungsklasse	mg Jodeosin auf 1 qm
1	0— 5
2	5—10
3	10—20
4	20—40
5	über 40

Nach dem Resultat des Versuchs kann man die Haltbarkeit eines Glases in normaler atmosphärischer Luft feststellen, zur vollkommenen Beurteilung ist jedoch diese Probe nicht ausreichend; denn abgesehen davon, daß sich die schweren Flintgläser der Methode nicht einwandfrei fügen (sie geben zu kleine Werte), erleiden die optischen Gläser zuweilen Fleckenbildung, die nicht auf normale Verwitterung zurückzuführen ist.

Es hat sich nun gezeigt, daß diese Flecken, die in verschiedener Farbe und Stärke an vielen Sorten dieser Gläser auftreten, durch saure Reagenzien aller Art entstehen. Man muß also, um die Haltbarkeit eines optischen Glases zu kennen, auch noch festtellen, wie es sich gegen schwach saure Angriffe verhält. Hierfür hat Zschimmer[1]) folgende Probe vorgeschlagen: Man bringt von einer $0,5\,^0/_0$igen Essigsäure-Lösung, der $0,05\,^0/_0$ Glyzerin zugesetzt ist, einen Tropfen auf die gut gereinigte Glasfläche und läßt diesen 24 Stunden wirken. Nachdem wäscht und trocknet man das Glas ab. Bei den fleckenempfindlichen Sorten findet man dann einen — oft nur im reflektierten Licht auf dunklem Grund sichtbaren — Fleck, dessen Stärke die Empfindlichkeit des Glases anzeigt. Eine quantitative Probe anderer Art, der freilich auch kleine Mängel anhaften, ist im *Sprechsaal 1923* Gastechn. Ber. Bd. 1, H. 5 beschrieben. Aus der dort gegebenen Tabelle ist deutlich, wie die Verwitterung der Gläser (nach F. Mylius) von der Fleckenempfindlichkeit unabhängig ist.

Nach den hier besprochenen Verfahren läßt sich die chemische Haltbarkeit aller Gläser befriedigend feststellen, sofern die Beanspruchung bei gewöhnlicher Temperatur geschieht. Wesentlich anders wird das Verhalten des Glases, wenn man es im Autoklaven bei höheren Dampfdrucken behandelt, wobei selbst gutes Material oft stark leidet. Somit ist eine besondere Prüfung z. B. für Wasserstandsgläser an Dampfkesseln nötig, da man aus den Prüfungsergebnissen bei 80^0 keinen sicheren Rückschluß auf das Verhalten des Glases z. B. bei 180^0 machen kann.

Untersuchungen dieser Art, sowie nach den oben beschriebenen Verfahren werden an der Physikal. Techn. Reichsanstalt Charlottenburg ausgeführt.

---

[1]) *Diese Zeitschr.* **23.** *S. 55. 1903.*

Die „effektive Wellenlänge“ bei der Bestimmung des optischen Drehungsvermögens.

Von
Dr. **H. Schulz.**
(Mitteilung aus der Optischen Anstalt C. P. Goerz A.-G., Berlin-Zehlendorf.)

Der Drehungswinkel einer optisch aktiven Substanz ändert sich ebenso wie die Brechungszahl mit der Wellenlänge, und es ist für jede Messung, die Anspruch auf Genauigkeit erheben will, notwendig, einen bestimmten mehr oder weniger eng begrenzten Spektralbezirk auszusondern, dessen Breite durch die erforderliche Meßgenauigkeit gegeben ist.

Für wissenschaftliche Untersuchungen bietet die Erzeugung monochromatischen Lichtes keine besonderen Schwierigkeiten, da einerseits zahlreiche Lichtquellen bekannt sind, die genügend helle, leicht zu isolierende Linien aussondern, wie z. B. die Quecksilberlampen, andrerseits aber kann man auch bei Verwendung von Lichtquellen mit kontinuierlichem Spektrum die Breite des vom Spalt des Monochromators ausgeblendeten Bezirkes so klein machen, daß die Änderung des beobachteten Drehungswinkels mit der Wellenlänge für das zur Messung benutzte Wellenlängengemisch unterhalb der Beobachtungsfehlergrenze bleibt.

In der Praxis dagegen, in der die Polarisationsapparate als analytische Hilfsmittel eine erhebliche Rolle spielen, ist es nicht immer möglich, eine so sorgfältige spektrale Reinigung vorzunehmen, da mit wachsenden Anforderungen an die spektrale Reinigung die Schwierigkeiten instrumenteller Art und ebenso die beleuchtungstechnischen immer größere Bedeutung erlangen.

Es entsteht daher die Frage, welche Beziehungen zwischen der Breite des in den Polarisationsapparat eintretenden Spektralbereiches und der erreichbaren Meßgenauigkeit bestehen; ihre Beantwortung ist um so wichtiger, als bei den Polarisationsapparaten, die mit verschwindender Ausnahme stets in die Auslöschungsstellung gebracht werden müssen, die Dispersion des Drehungsvermögens eine um so größere relative Intensitätserhöhung bewirkt, je mehr sich die Wellenlängen von der in der Auslöschungsstellung befindlichen unterscheiden.

Nun kann man zwar in einigen Fällen die unangenehmen Wirkungen der Rotationsdispersion dadurch beseitigen, daß man durch Einschaltung einer entgegengesetzt drehenden Substanz von gleicher Rotationsdispersion eine Achromatisierung bewirkt, wie dies bei den Saccharimetern allgemein üblich ist. Meist ist man aber auch für praktische Zwecke auf monochromatische Lichtquellen oder spektrale Zerlegung angewiesen, zumal wenn es sich um die Bestimmung der Rotationsdispersion handelt. Außer der mit Natrium gefärbten Bunsenflamme ist höchstens noch die Thalliumflamme verwendbar, doch sind beide verhältnismäßig lichtschwach, und es ist daher kein Wunder, daß man in vielen Fällen versucht hat, mit Hilfe von Filtern, von denen die Landoltschen Filter am bekanntesten sind, entsprechende Spektralbereiche zu isolieren.

Wie nun deren Zusammensetzung auch sein mag, stets wird der durchgelassene Bereich ein endlich breiter sein und die „effektive Wellenlänge“ wird von der Emission der Lichtquelle und der Absorptionskurve des Filters bzw. von der Dispersion des Zerlegungsapparates und der benutzten Spaltbreite abhängen. Fernerhin sind noch die physiologischen Eigenschaften des Auges zu berücksichtigen, deren Einfluß namentlich in den Endbererichen des Spektrums sich bemerkbar machen dürfte.

Setzt man zunächst einen nicht selektiven Strahler voraus, dessen spektrale In-

tensitätsverteilung $E(\lambda)$ durch das Plancksche oder, da hier nur die Strahlung im sichtbaren Gebiet berücksichtigt werden braucht, mit genügender Näherung durch das Wiensche Gesetz darzustellen ist, so ist die in den Apparat eintretende Strahlung nach Durchgang durch ein Filter von der Durchlässigkeit $D(\lambda)$ gegeben durch

$$E(\lambda) \cdot D(\lambda).$$

Wird ferner für die Schwingungsamplituden in den Halbschattenfeldern Gleichheit angenommen und ist der Halbschattenwinkel 2ε, so wird für eine Wellenlänge mit dem Drehungswinkel α_λ die Intensität in den beiden Hälften des Gesichtsfeldes eines Halbschattenapparates

im Feld I $\qquad E(\lambda)\, D(\lambda) \sin^2(\varepsilon + \alpha_0 - \alpha_\lambda)$,

im Feld II $\qquad E(\lambda)\, D(\lambda) \sin^2(\varepsilon - \alpha_0 + \alpha_\lambda)$,

wo α_0 die Einstellung des Analysators, gemessen von der Mittellinie der beiden Schwingungsrichtungen, bedeutet.

Gleiche Helligkeit der beiden Gesichtsfeldhälften wird man daher, wenn man mit $\eta(\lambda)$ die Empfindlichkeit des Auges bezeichnet, erhalten, wenn

$$\int E(\lambda)\, D(\lambda)\, \eta(\lambda) \sin^2(\varepsilon + \alpha_0 - \alpha_\lambda)\, d\lambda = \int E(\lambda)\, D(\lambda)\, \eta(\lambda) \sin^2(\varepsilon - \alpha_0 + \alpha_\lambda)\, d\lambda$$

ist, wobei die Integrale über das sichtbare Gebiet zu erstrecken sind und von dem Auftreten von Farbenunterschieden in den Gesichtsfeldhälften abgesehen werden soll. Durch eine einfache Rechnung folgt hieraus

$$\operatorname{tg} 2\alpha_0 = \frac{\int E(\lambda)\, D(\lambda)\, \eta(\lambda) \sin 2\alpha_\lambda\, d\lambda}{\int E(\lambda)\, D(\lambda)\, \eta(\lambda) \cos 2\alpha_\lambda\, d\lambda}. \qquad 1)$$

Nun ist zwar das Emissionsgesetz für Temperaturstrahler bekannt, ebenso die Empfindlichkeitskurve $\eta(\lambda)$, dagegen kann die spektrale Verteilung der Durchlässigkeit sehr verschieden sein. Immerhin wird man Anhaltspunkte für die Grenzen des Durchlässigkeitsbereiches gewinnen können, wenn man für $D(\lambda)$ eine willkürliche Funktion ansetzt, welche eine Abnahme der Durchlässigkeit nach beiden Seiten des Durchlässigkeitsmaximums ergibt. Wählt man

$$E(\lambda) = A_e \lambda^{-p_e} e^{-\frac{q_e}{\lambda}}, \qquad 2)$$

$$\eta(\lambda) = A_\eta \lambda^{-p_\eta} e^{-\frac{q_\eta}{\lambda}},$$

wobei die Konstantenwerte der zweiten Gleichung, also für $\eta(\lambda)$ von J. Kelen[1]) nach den Benderschen Werten[2]) berechnet worden sind, so liegt es nahe, $D(\lambda)$ in der Form

$$D(\lambda) = A_d \lambda^{-p_d} e^{-\frac{q_d}{\lambda}} \qquad 2a)$$

anzunehmen.

Dann ergibt sich aus Gleichung (1)

$$\operatorname{tg} 2\alpha_0 = \frac{\int \lambda^{-(p_e + p_\eta + p_d)} e^{-\frac{q_e + q_\eta + q_d}{\lambda}} \sin 2\alpha_\lambda\, d\lambda}{\int \lambda^{-(p_e + p_\eta + p_d)} e^{-\frac{q_e + q_\eta + q_d}{\lambda}} \cos 2\alpha_\lambda\, d\lambda}.$$

Setzt man noch abkürzend

$$P = p_e + p_\eta + p_d$$
$$Q = q_e + q_\eta + q_d$$

---

1) Kelen, J. *Zeitschr. f. Beleuchtungswesen* **26**. *S. 150. 1920.*

2) Bender, H. Inaug. Diss. Breslau, 1913.

und für die Abhängigkeit des Drehungswinkels α_λ von der Wellenlänge

$$\alpha_\lambda = a + \frac{b}{\lambda^2}, \tag{3}$$

so wird, wenn man $\sin 2\alpha_\lambda$ und $\cos 2\alpha_\lambda$ nach Potenzen von λ^{-2} entwickelt,

$$\operatorname{tg} 2\alpha_9 = \frac{\sin 2a \int \lambda^{-P} e^{-\frac{Q}{\lambda}} d\lambda + 2b \cos 2a \int \lambda^{-P-2} e^{-\frac{Q}{\lambda}} d\lambda}{\cos 2a \int \lambda^{-P} e^{-\frac{Q}{\lambda}} d\lambda - 2b \sin 2a \int \lambda^{-P-2} e^{-\frac{Q}{\lambda}} d\lambda}.$$

Unter Berücksichtigung des für partielle Integration gewonnenen Ausdrucks

$$\int_0^\infty x^{-m} e^{-\frac{n}{x}} dx = (m-2)!\, n^{1-m} \tag{4}$$

folgt, da man unbedenklich die vorher angegebenen Integrationsgrenzen wegen des klingens von $\eta(\lambda)$ erweitern kann,

$$\int_0^\infty \lambda^{-P} e^{-\frac{Q}{\lambda}} d\lambda = (P-2)!\, Q^{1-P} \tag{5}$$

und daher

$$\frac{\int_0^\infty \lambda^{-P-2} e^{-\frac{Q}{\lambda}} d\lambda}{\int_0^\infty \lambda^{-P} e^{-\frac{Q}{\lambda}} d\lambda} = Q^{-2} P(P-1) = \frac{1}{\Lambda^2}. \tag{6}$$

Wenn auch der Integrationsausdruck (5) nur für ganzzahlige Werte streng gilt, so kann man doch, da nach Kelen

$$p_\eta = 132; \quad q_\eta = 72{,}6$$

und, wie bekannt,

$$p_e = 5; \quad q_e = 14400\, T^{-1}$$

ist, den Fehler als klein betrachten und es folgt, da auch P groß gegen 1 ist,

$$\Lambda = \frac{Q}{P}. \tag{6a}$$

Man erhält somit

$$\operatorname{tg} 2\alpha_0 = \frac{\sin 2a + \frac{2b}{\Lambda^2} \cos 2a}{\cos 2a - \frac{2b}{\Lambda^2} \sin 2a}$$

oder

$$\alpha_0 = a + \frac{b^2}{\Lambda^2}. \tag{7}$$

Λ ist somit die gesuchte „effektive Wellenlänge“, für die auf Intensitätsgleichheit eingestellt wird, und es folgt aus 6a)

$$\Lambda = \frac{q_e + q_\eta + q_d}{p_e + p_\eta + p_d}, \tag{8}$$

und endlich, da zwischen den Konstanten q_d und p_d und der Wellenlänge λ_d des Durchlässigkeitsmaximus die Beziehung

$$q_d = p_d \lambda_d$$

besteht, nach Einsetzen der angegebenen Werte für p_e, p_η, q_e, q_η

$$\Lambda = \frac{14400\,T^{-1} + 72{,}6 + p_d \lambda_d}{137 + p_d}. \qquad 9)$$

Daraus ergibt sich die Abweichung der effektiven Wellenlänge vom Durchlässigkeitsmaximum des Filters

$$d\lambda = \Lambda - \lambda_d = \frac{14400\,T^{-1} + 72{,}6 - 137\,\lambda_d}{137 + p_d}. \qquad 10)$$

Bei gegebenem Filterschwerpunkt (oder Schwerpunkt des von einem Monochromator isolierten Spektralbereiches) wird also der Fehler der Messung um so größer, je kleiner p_d ist; p_d ist aber ein Maß für die Breite des Spektralbereiches, und zwar gilt

$$p = \frac{0{,}30103}{\lg \lambda' + \frac{\lambda_d}{\lambda'} \lg e - \lg (e \cdot \lambda_d)}$$

für die angenommene Funktion (2a), wobei λ' die eine Wellenlänge bezeichnet, für die die Durchlässigkeit halb so groß ist, als diejenige des Durchlässigkeitsmaximums. Für die Änderung der effektiven Wellenlänge mit der Temperatur des Strahlers würde folgen

$$d\Lambda = \frac{14400}{137 + p_d} \frac{dT}{T^2}, \qquad 11)$$

d. h. je höher die absolute Temperatur der Lichtquelle, desto kleiner ist die bei Temperaturschwankungen auftretende Änderung der effektiven Wellenlänge. Demgemäß ist die Verwendung von Lichtquellen mit hoher schwarzer Temperatur auch deshalb zu empfehlen, weil die möglichen systematischen Fehler kleiner werden.

Eine strenge Prüfung der aufgestellten Gleichungen ist kaum möglich, weil einerseits eine Reihe einschränkender Annahmen bei der Ableitung gemacht wurden, die bei Versuchen meist nicht streng zutreffen, andrerseits aber die Konstanten der Empfindlichkeitskurve nicht unerheblichen individuellen Schwankungen unterliegen.

So ist zum Beispiel die Änderung der spektralen Verteilung durch Absorption in den Dispersionsprismen des Zerlegungsapparates sowie durch Reflexion an den verschiedenen Flächen nicht berücksichtigt, von denen die Kittflächen der Polarisationsprismen wohl den größten Einfluß ausüben dürften. Ferner ist vernachlässigt die Ungleichheit der Amplituden in den Gesichtsfeldhälften, die nach früheren Versuchen mehr als $20\,^0/_0$ betragen kann[1]). Wenn dies aber der Fall ist, so ist mit Zusatzgliedern zu rechnen, die vom Amplitudenverhältnis und vom Halbschatten abhängen.

Eine rohe mehr qualitative Bestätigung kann man in folgendem erblicken: Für die häufig verwendeten Gelbfilter, die von etwa 560 mμ ab absorbieren, ist gefunden worden, daß die mit Tageslicht und mit künstlichem Licht erhaltenen Beobachtungsergebnisse um etwa $4\,^0/_0$ voneinander abweichen. Setzt man in Formel 10) für T einmal 6000, dann 2000, so erhält man bei $\lambda_d = 0{,}600$ mμ, wenn außerdem p_d mit etwa 300 angenommen wird, eine relativee Änderung der effektiven Wellenlänge von 0,01, der für Zuckerlösungen eine Änderung der spez. Drehung von etwa $3\,^0/_0$ entsprechen würde.

Eine eingehendere Prüfung ist versucht worden, indem spektrale Zerlegung durch einen Monochromator vorgenommen wurde und der Eintrittsspalt bei sonst unveränderter Versuchsanordnung der Reihe nach auf 0,5; 1,0; 1,5 und 2,0 mm eingestellt wurde. Bei allen Spaltbreiten und für sechs verschiedene Stellen des Spektrums wurden die Drehungswinkel für vier geeichte Normalquarzplatten bestimmt und daraus

[1]) H. Schulz, *Verh. d. Deutschen Physikal. Ges.* **21**. *S. 227. 1919.*

die effektive Wellenlänge berechnet. Trotz der für größere Spaltbreiten als 1,0 mm und größere Drehungen auftretenden Farbdifferenzen in den Gesichtsfeldhälften waren die Fehler des Mittels von je fünf Einstellungen höchstens $0,02^0$ und die Mittelwerte von Meßreihen, die an verschiedenen Tagen ausgeführt worden waren, stimmten ebenfalls auf $0,02^0$ überein.

Die Quarzplatten waren so gewählt, daß in etwa gleichen Intervallen Drehungen zwischen — 10 und + 35^0 (für Natriumlicht) gegeben waren.

Wie die folgende Tabelle zeigt, bei der die auf gleiche Dicke reduzierten, auf die Drehung in Na-Licht bezogenen Drehungswerte für vier Platten und die vier Spalte angegeben sind, ist der Einfluß der Größe des Drehungswinkels wohl vorhanden, aber gegenüber dem Einfluß der Spaltbreite nicht allgemein zu groß.

Tabelle 1

Platte	6,869°	10,511°	17,38°	34,670°	Mittel
Spalt 0,5 mm	1,2986	1,3001	1,3001	1,3018	1,3002
Spalt 1,0 mm	1,3132	1,3110	1,3129	1,3147	1,3130
Spalt 1,5 mm	1,3265	1,3252	1,3282	1,3298	1,3274
Spalt 2,0 mm	1,3280	1,3279	1,3314	1,3300	1,3293

Ferner ist, wie zu erwarten war, eine kleine aber deutlich ausgeprägte Abhängigkeit vom Halbschattenwinkel vorhanden. Es ist für die gleiche Platte gefunden worden

Tabelle 2.

Spalt	Halbschatten 5°	Halbschatten 10°
0,5 mm	57,75	57,83
1,0 mm	58,35	58,28
1,5 mm	58,85	58,76
2,0 mm	58,86	58,71

Bei der Berechnung der effektiven Wellenlänge aus dem Mittel der Ablesungen für je vier Platten hat sich nun ergeben:

Tabelle 3.

Meßreihe	I	II	III	IV	V	VI
Spalt 0,5 mm	0,6508	0,6069	0,5465	0,5136	0,4762	0,4517
Spalt 1,0 mm	0,6428	0,6018	0,5428	0,5110	0,4734	0,4492
Spalt 1,5 mm	0,6413	0,5987	0,5422	0,5081	0,4705	0,4473
Spalt 2,0 mm	0,6413	0,5975	0,5421	0,5077	0,4712	0,4472

Für sämtliche Meßreihen ist also die Änderung am größten beim Übergang von Spaltbreite 0,5 zu Spaltbreite 1,0. Die Änderung wird geringer mit abnehmender Wellenlänge.

Für die Auswertung nachteilig war zunächst, daß der Spalt nicht symmetrisch war, doch konnte man aus der bekannten Objektivbrennweite und der bekannten Dispersion die hierdurch bedingte Verschiebung des Durchlässigkeitsbereiches berechnen, ebenso wie man auch angenäherte Werte für p_d ermitteln konnte. Für diese ergab sich

Tabelle 4 (Werte für p_d).

Meßreihe	I	II	III	IV	V	VI
Spalt 0,5 mm	3860	6840	9410	13100	20100	27400
Spalt 1,0 mm	2020	3350	4630	6410	9710	13100
Spalt 1,5 mm	918	1510	2090	2870	4300	5900
Spalt 2,0 mm	524	843	1190	1630	2260	3310
Wellenlänge für Spaltbreite 0	0,6569	0,6121	0,5493	0,5162	0,4771	0,4528

Eine vollkommene Übereinstimmung läßt sich mit Hilfe der einfachen Formel nicht erzielen, jedoch kann man die Beobachtungen sehr gut in der Form

$$\Lambda - \lambda_d = \frac{42{,}85 - 55{,}75\,\lambda_d}{p_d + 137}$$

darstellen, oder, wenn man auf die Konstanten der Formel 10) für $T \sim 2000$ zurückgeht,

$$\Lambda - \lambda_d = \frac{80 - 137\,\lambda_d}{p_d + 137} + \frac{81{,}25\,(\lambda_d - 0{,}4557)}{p_d + 137}, \qquad 12)$$

wo der zweite Summand ein auf die Einwirkung der Halbschattengröße und der Verschiedenheit der Amplituden zurückzuführendes Korrektionsglied darstellt, teilweise auch durch die erwähnte Absorption und Reflexion beeinflußt wird. Die unter Berücksichtigung der Unsymmetrie des Spaltes sich ergebenden Werte der effektiven Wellenlänge sind im folgenden (Tab. 5) zum Vergleich mit den Beobachtungswerten (Tab. 3) angegeben.

Tabelle 5 (Effektive Wellenlänge nach Formel 12).

Meßreihe	I	II	III	IV	V	VI
Spalt 0,5 mm	0,6503	0,6071	0,5465	0,5135	0,4750	0,4512
Spalt 1,0 mm	0,6435	0,6025	0,5433	0,5109	0,4730	0,4496
Spalt 1,5 mm	0,6399	0,5999	0,5420	0,5100	0,4724	0,4490
Spalt 2,0 mm	0,6383	0,5989	0,5421	0,5101	0,4730	0,4492

Obwohl diese Werte nur eine spezielle Bedeutung besitzen, kann man doch Schlüsse von allgemeiner Anwendungsmöglichkeit aus ihnen ziehen, insofern als sie gestatten, Grenzwerte für die bei einer verlangten Meßgenauigkeit noch zulässige Spaltbreite anzugeben. Soll die Änderung der effektiven Wellenlänge z. B. kleiner als 0,001 μ sein, so dürfte bei einer mittleren Wellenlänge von 0,5 μ die Wertzahl p_d der Halbbreite nicht kleiner als 15000 etwa sein, was für die gegebene Anordnung mit einer Objektivbrennweite von 100 mm und zwei Dispersionsprismen mit 60° brechendem Winkel eine Spaltbreite von weniger als 0,5 mm erfordern würde. Läßt man hingegen noch einen Fehler von 2 mμ zu, so wird $p_d \sim 7500$ und die Spaltbreite etwa 0,8 mm. Es mag bemerkt sein, daß der p-Wert nicht umgekehrt proportional der Spaltbreite sich ändert, sondern für kleine Spaltbreiten fast proportional ihrem Quadrat.

Mit zunehmender Spaltbreite wächst also der Fehler zunächst sehr schnell, um dann für breite Spektralgebiete verhältnismäßig geringer zu werden, namentlich im Gebiet mittlerer Wellenlängen, was übrigens durch die Erfahrung bestätigt ist. Bei Beschränkung auf den ersten Summanden der Formel 12), die bei nahezu gleichem Amplitudenverhältnis in den Gesichtsfeldhälften zulässig ist, läßt sich für das Filter, das keinerlei Abweichungen ergibt, gleichgültig wie breit das Filter ist und welche Lichtquelle gewählt wird, ein Schwerpunkt von 580 mμ berechnen, während für ungleiche Amplituden die Wellenlänge anders gewählt werden muß.

Unberücksichtigt geblieben ist bei diesen Ableitungen die Farbenänderung, die bei großen Werten von p_d auch keine Rolle spielt, ebenso bei sehr kleinen, weil dann die Felder in einer gleichmäßigen Mischfarbe erscheinen, jedoch wird man auch bei mittleren Durchlässigkeitsbreiten für kleine Drehungen meist nur geringe, die Einstellung nicht störende Farbdifferenzen erhalten.

Referate.

Ein Komparator für Normalmaßstäbe mit Verwendung von Lichtwellen als Messungshilfsmittel.

Von A. E. H. Tutton. *Philosoph. Transact. Ser. A.* ***210.*** *S. 1. 1911.*

Ein Universal-Interferometer.

Von A. E. H. Tutton. *Proc. of the Royal Soc. of London. Ser. A.* ***104.*** *S. 47. 1923.*

Ein Torsionsmesser für Messung mit Lichtwellen und seine Verwendung mit dem Universal-Interferometer.

Von A. E. A. Tutton. *Ebenda* ***104.*** *S. 62. 1923.*

Die vorstehend genannten drei Arbeiten haben im Grunde das gleiche Ziel, die Verwendung von Lichtinterferenzen zur Messung kleiner Längenunterschiede in bekannter Art. Die erste Arbeit beschreibt einen besonderen zu diesem Zweck gebauten Universalkomparator zur Vergleichung zweier beliebiger nahezu gleich langer Maßstäbe durch mikroskopische Einstellung direkt, in der bekannten Weise, indem das eine Mikroskop durch eine Feinbewegungsschraube so weit parallel zu sich verschoben wird, bis der Längenunterschied der Maßstäbe überdeckt ist; mit dem Mikroskope bewegt sich ein Spiegel, der in einer Interferenzanordnung Interferenzstreifen erzeugt, deren Wanderung beobachtet und deren Zahl gezählt wird. In der zweiten Arbeit wird dann eine grundsätzlich ganz gleiche Anordnung beschrieben wie jener Komparator, nur aus einem Mikroskop mit Spiegel bestehend, dessen seitliche Verschiebung interferentiell gemessen wird. Die dritte endlich beschreibt einen kleinen Apparat zur Messung der Torsionselastizität, insbesondere von Kristallen, in der Art des bekannten Apparats von Voigt, nur mit der Abänderung, daß die Drehung eines Hebelarms in eine Längsverschiebung umgewandelt wird, die einer Strichmarke erteilt wird, und diese Verschiebung wird durch das Mikroskop des Interferometers gemessen.

Es sei nunmehr auf die Anordnung im einzelnen eingegangen:

Der Komparator befindet sich in einem besonderen Raum des *Board of Trade*, in dem weiter keine Instrumente aufgestellt sind. Als Fundament dient ihm ein schwerer Sandsteinpfeiler, der so aufgebaut ist, daß sowohl der eigentliche Komparator, wie die Beleuchtungseinrichtung nebst Spektroskop auf ihm aufgestellt werden kann. Das Spektroskop selbst ist in bekannter Weise eingerichtet, mit Autokollimation. Seitlich tritt das Licht einer Geißler-Röhre oder Kadmiumlampe in das Fernrohr herein und wird durch ein vierseitiges Prisma der üblichen Art spektral zerlegt und seitlich abgelenkt. Das Prisma ist drehbar gelagert, so daß man durch seine Drehung beliebige Farben auf die Interferenzanordnung werfen kann. Die Mikroskope sind an schweren Gußeisenklötzen befestigt, in der Art, daß man zunächst die Mikroskope selbst einschließlich ihrer Feinbewegungseinrichtungen an beliebigen Stellen der Komparatorlänge feststellen kann. Sodann kann jedes einzelne Mikroskop noch durch eine Feinbewegungsschraube parallel zu sich in Richtung der Maßstabachsen einige Millimeter verschoben werden. Die Führung der Stücke erfolgt stets in allen Teilen durch eine Ebene und eine $\wedge$-Schiene. Auf die Bearbeitung dieser Führungen ist überall ganz besondere Sorgfalt verwandt worden, so daß die Bewegung sehr genau und gradlinig erfolgt, was man an der Unveränderlichkeit der Abstände der Interferenzstreifen und ihrer Neigung prüfen kann. Die immerhin beträchtlichen Gewichte, die auf den Gleitflächen ruhen, werden zum größten Teil durch auf Federn ruhende Rädchen aufgehoben, bis zu 0,1 ihres Betrages. Das eine Mikroskop trägt an seinem Halter seitlich eine ebene Glasplatte, die als die eine Interferometerplatte dient. Das gleiche Mikroskop kann durch eine Feinbewegungsschraube von 0,5 mm Ganghöhe seitlich bewegt werden. Der Kopf der Schraube trägt in der bekannten Weise wie bei vielen englischen Meßinstrumenten einen Teilkopf mit 1000 Teilen und ist gleichzeitig noch mit einem Zahnkranz mit 100 Zähnen versehen, in den eine Schnecke eingreift, die eine äußerst feine Verschiebung des Mikroskops zuläßt. Die zweite Interferometerplatte sitzt an dem Unterbau des Mikroskopträgers fest. Sie ist schwach keilförmig mit 35′ Keilwinkel geschliffen, zu dem Zweck, falsche Bilder seitlich heraus abzulenken, und zur Kompensation der Ablenkung ist eine dritte ähnliche Platte vorgesehen, mit gleichem Keilwinkel, aber in entgegengesetzter Richtung. Über die Auflagertische für die Maßstäbe ist nichts besonderes zu sagen. Sie haben die üblichen feinen

Justiereinrichtungen und sind horizontal senkrecht zur Maßstabachse verschiebbar, um beide zu vergleichenden Maßstäbe nacheinander unter die Mikroskope zu bringen. Die vorstehend erwähnte Schnecke zur Feinbewegung des Mikroskops wird durch einen großen Teilkopf bewegt, der auf einem besonderen Gestell gelagert ist, das sich in nächster Nähe des Beobachters an dem Spektroskop-Okular befindet. Die Verbindung zwischen Teilkopf und Schnecke ist durch eine dünne Stahlstange hergestellt, so daß damit eine gewisse Elastizität der Verbindung erzielt ist. Eine Umdrehung des Teilkopfs entspricht ja 0,005 mm, d. h. rund 15 Interferenzstreifen im roten Licht. Ein Streifen entspricht etwa 2 bis 3 cm am Umfang des Teilkopfs. Von weiteren Einzelheiten sind noch folgende zu erwähnen: Der Raum wird dauernd auf einer Temperatur von 62° F gehalten. Dazu dienen mehrere elektrische Heizkörper, die durch Relais eingeschaltet werden. Diese werden entweder durch große Quecksilberthermometer mit Platinkontakt betätigt, die so groß sind, daß ein Grad etwa 6 mm lang ist. Oder statt dessen wird eine elektrische Widerstandsmessung in Brückenanordnung benutzt mit einem auf einen langen Rahmen aufgewickelten etwa 200 m langen Eisendraht als Widerstandsdraht. Auch diese kann die Relais betätigen. Diese Anordnung gibt wegen ihrer räumlichen Ausdehnung die mittlere Raumtemperatur günstiger an. Die Mikroskope sind speziell für den vorliegenden Fall von der Firma R. u. J. Beck hergestellt. Sie sind so angebracht, daß sie bis auf weniger als 10 cm einander genähert werden können. Beide sind mit doppelten Mikrometerfadenpaaren und zwei Mikrometerschrauben versehen. Die eine bewegt ein Fadenpaar, die zweite beide gleichzeitig. Jedes hat auswechselbare Okulare von 8- bzw. 15facher Vergrößerung. Die vorgesehenen Objektive geben mit den Okularen eine Gesamtvergrößerung von 150 und 282, bzw. 1595 und 2990. Die Brennweite und die Form des stark vergrößernden Objektivs ist so bemessen, daß man noch in genügender Entfernung von der Maßstabfläche bleibt, und bequem in die Vertiefung seiner Oberfläche hereinkommt, wenn er in der neutralen Zone geteilt ist. Die Mikroskope besitzen Zentralbeleuchtung.

Für die normalen Striche auf Maßstäben ist jene Vergrößerung der Mikroskope naturgemäß viel zu hoch. Für die Zwecke der reinen Interferenzmessungen mußten also andere Marken geschaffen werden. Dazu erwiesen sich nach langen Vorversuchen Teilungen als zweckmäßig, wie sie für Beugungsgitter ausgeführt werden. Von Grayson wurden zu diesem Zweck auf kleine Metallplatten aus Spiegelmetall 5 Striche wie für Gitter gezogen, rd. 0,6 μ Abstand, entsprechend 40000 Strichen auf den Zoll. Seitlich werden diese Striche von zwei starken Strichen begrenzt, um die Teilungsstelle leichter sichtbar zu machen. Der mittelste der 5 Striche gilt als maßgebend. Längslinien wie üblich sind vorgesehen. Diese Striche erweisen sich auch bei der stärksten Vergrößerung als hervorragend gut einstellbar.

Das Universal-Interferometer ist praktisch genau in der gleichen Weise wie der Komparator gebaut, aber nur mit einem Mikroskop ausgerüstet, das auf einem verhältnismäßig kurzen Bett verschoben werden kann. Es ist hierbei dieses Bett in genügender Höhe, das Spektroskop und der Träger für den Schneckenantrieb anf einer schweren Gußplatte fest gemeinsam montiert, in einer Anordnung, daß genügend Platz zum Unterbringen anderer Apparate unterhalb des Mikroskops zur Verfügung bleibt. Auf der dem Mikroskop entgegengesetzten Seite des Mikroskopträgers ist überdies noch eine Spiegelanordnung angebracht, nach Art des Michelson-Interferometers, um auch nach diesem Verfahren Messungen ausführen zu können. Unterhalb des Mikroskopobjektives, das bei der stärksten Vergrößerung nur bis auf 1 mm sich dem Objekt zu nähern braucht, und das mit einer Korrektionsfassung für Deckgläser versehen ist, ist an einem Träger, der ebenfalls auf dem Bett in ähnlicher Weise wie das Mikroskop selbst verschiebbar ist, ein Schlitten für die oben geschilderten Strichmarken angebracht, die dort festgestellt oder auch verschiebbar aufgelegt werden können, in einer sauberen Schlittenführung, parallel zur Meßrichtung des Mikroskops.

Zur Aufnahme beliebiger Apparate ist unterhalb des Mikroskops ein allseitig justierbarer und drehbarer Tisch vorgesehen. Auf ihm wird z. B. auch der Torsionsmesser befestigt. Er besteht im wesentlichen aus zwei genau in einer Linie angeordneten Achsen, die Räder tragen, an deren Umfängen die Drehkräfte angreifen. Diese Räder sind auch feststellbar. An den einander gegenüberliegenden Enden der Achsen sind dann die Klemmstücke für die zu untersuchenden Kristalle angesetzt. Auf diese selbst werden dann durch klemmbare Schneiden radiale Arme angesetzt, die

bestimmte Längen auf dem Kristall meßbar abgrenzen. Der Torsionsmesser wird dann so auf dem Interferometer justiert, daß der eine senkrecht nach oben stehende Arm gerade den Schlitten mit den mikroskopischen Stichmarken berührt. Wirkt dann das Drehmoment an dem Kristall, so dreht sich dieser Arm ein wenig und verschiebt diese Stichmarke entsprechend. Diese Verschiebung wird interferometrisch gemessen.

Die gesamten oben beschriebenen Apparate bringen grundsätzlich nichts Neues, zeigen aber eine sehr große Menge vorzüglicher konstruktiver Einzelheiten, deren Beschreibung im einzelnen zu weit führt. Nach den Mitteilungen in den Originalarbeiten leisten sie meßtechnisch Vorzügliches das in der Hauptsache dadurch bedingt nur sein kann, daß sie ungemein sorgfältig in allen Einzelheiten ausgeführt sind, und an die Kunst der am Bau beteiligten Mechaniker sehr hohe Anforderungen stellen. Die gesamte Ausführung stammt, abgesehen von den oben bereits genannten, von der Firma Troughton & Simms. *Block.*

Der große Meridiankreis und das Boutysche Mikrometer.

Von F. Lancelin. *Bull. astronom. Mém. et Var.* **3.** *S. 131. 1923.*

Nach einleitenden Angaben über die Geschichte des nach Leverriers Plänen im Jahre 1863 von Eichens erbauten, mit Secrétanschem Objektiv von 236 mm versehenen Meridiankreises der Pariser Sternwarte und über die mit diesem Instrument ausgeführten Beobachtungsreihen werden in kurzer Darstellung die im Lauf der Zeit an ihm angebrachten konstruktiven Ergänzungen und Veränderungen besprochen: Anbringung eines Niveaus 1871; Bau einer Mire 1878; Einrichtung des Loewyschen Apparats zur Biegungsbestimmung 1879; Einziehung eines neuen Kreises 1880; Umbau des Nadir-Okulars 1902; Verwendung des Gautierschen Druckchronographen seit 1903; sodann die wichtigste Verbesserung, nämlich die Anbringung eines selbstregistrierenden Mikrometers von Edouard Bouty im Jahre 1913; das neue Verfahren der Nadirbestimmung mit dem Hamyschen Quecksilberspiegel und ein zweiter Umbau des Nadir-Okulars nach Hamy, beides 1914; Abblendung des Objektivs von 236 mm auf 184 mm nach Prüfung desselben durch Hamy.

Der Verfasser beschreibt darauf sehr eingehend die wichtigste dieser Veränderungen, nämlich das Boutysche selbstregistrierende Mikrometer. Die Rektaszensionsschraube desselben wird durch einen Elektromotor bewegt und trägt auf ihrem Trommelrand fünf etwas vorspringende symmetrisch angeordnete Kontakt-Stahlflächen für die Registrierung der Sterndurchgänge auf den Chronographen. Der sehr leicht gebaute Motor ist auf einem Aluminiumsockel mit Hartgummi-Isolierung am Kubus des Fernrohrs angebracht und läßt sich durch Änderung der Stromintensität auf verschiedene Geschwindigkeiten, nämlich für alle Deklinationen zwischen 0^0 und 84^0, einstellen; eine Erschütterung des Fernrohrs ist selbst bei Aequatorgeschwindigkeit nicht merkbar. Ein selbsttätiger Unterbrecher schaltet den Motor aus, sobald die Rektaszensionsschraube am Ende angelangt ist. Jede der beiden Mikrometerschrauben überstreicht ein Gesichtsfeld von $40'$ in beiden Koordinaten und hat eine Ganghöhe von $1' = 1{,}127$ mm. Die Einstellungen der Deklinationsschraube werden registriert, indem die erhabenen Zahlen ihres Trommelrandes mittels eines Hebelsystems gegen ein Schreibmaschinen-Farbband gepreßt und so auf den abrollenden Registrierstreifen eines Deklinographen übertragen werden.

Mit dem Boutyschen Mikrometer ist eine Selbstregistrierung der Durchgänge von Sternen bis zu etwa 70^0 Deklination ohne weiteres möglich, und durch eine Differentialschraube läßt sich die Verlangsamung der Bewegung noch so weit steigern, daß Sterne bis zu 84^0 Deklination auf diese Weise beobachtet werden können. Für die letzten 6 Grad um den Pol muß dann allerdings eine Führung durch die Hand des Beobachters eintreten.

Aus einer Zusammenstellung der Monatswerte für die Instrumentfehler während der Jahre 1919 bis 1922 geht hervor, daß die nahezu konstante Kollimation in dieser Zeit zwischen einem Durchschnittsminimum von $+0{,}44^s$ für Februar und einem Durchschnittsmaximum von $+0{,}56^s$ für September, die allmählich wachsende Neigung zwischen einem Durchschnittsminimum von $+0{,}10^s$ für September und einem Durchschnittsmaximum von $+0{,}28^s$ für März in regelmäßigen Jahreskurven schwankt, und daß die Mittel für die einzelnen Jahre folgende Werte ergeben:

	Kollimation	Neigung
1919	+ 0,50^s	+ 0,10^s
1920	+ 0,50^s	+ 0,15^s
1921	+ 0,51^s	+ 0,22^s
1922	+ 0,49^s	+ 0,35^s

Auch die Neigung des Horizontalfadens zeigt eine bemerkenswerte Konstanz, nämlich von 1919 bis 1922 unverändert + 0,003′, und seit einer im Oktober 1922 vorgenommenen Reinigung des Mikrometers — 0,001′.

Die Genauigkeit der mit dem Boutyschen Mikrometer erhaltenen Rektaszensionsbeobachtungen kennzeichnet der Verfasser an Hand einer Zusammenstellung von Differenzen der aus 163 Zeitbestimmungen von März 1919 bis November 1922 abgeleiteten Uhrkorrektionen, wie sie einerseits an den für den Zeitdienst benutzten Instrumenten und andrerseits an dem hier behandelten Eichensschen Meridiankreis gewonnen wurden. Als Ergebnis einer hiernach vorgenommenen Abzählung teilt der Verfasser die Häufigkeitszahlen einiger Gruppen solcher Differenzen mit, nämlich der absolut zu nehmenden Werte

$= 0{,}00^s$	11 mal
$\leqq 0{,}02^s$	42 „
$\leqq 0{,}05^s$	67 „
$\leqq 0{,}06^s$	108 „

die Ref. jedoch weder beweiskräftig noch auch durch die Originalzahlen der vom Verfasser gegebenen Tabelle bestätigt finden kann. Es läßt sich vielmehr folgende durchweg etwas günstigere Verteilung dieser 163 Differenzenwerte aufstellen:

0,00^s	17 mal
0,01^s bis 0,02^s	37 „
0,03^s „ 0,04^s	29 „
0,05^s „ 0,06^s	26 „
0,07^s „ 0,08^s	22 „
0,09^s „ 0,10^s	20 „
0,11^s „ 0,12^s	10 „
0,13^s	2 „

Ref. vermag allerdings gerade in diesem hier angezogenen Material auch jetzt noch keinen vollgültigen Beweis für eine besondere Genauigkeit der Rektaszensionsbeobachtungen zu erblicken.

Der monatliche Schwankungsbereich der Kollimation in Deklination übersteigt während der behandelten vier Jahre nur für den Juli 1919 und den Januar 1922 den Betrag von 2″, hält sich somit fast stets innerhalb der Hälfte des für die „Meridian-Anweisungen der Pariser Sternwarte“ festgesetzten Wertes. Diese Genauigkeit in den Deklinationsbeobachtungen ist ebenfalls der vollkommenen Festigkeit des Boutyschen Mikrometers zu verdanken.

Den Schluß des mit 7, z. T. auf Konstruktionszeichnungen der Boutyschen Werkstätte beruhenden Abbildungen versehenen Aufsatzes bildet eine kurze jahrweise Übersicht der Ephemeridenverbesserungen für den Mond und die großen Planeten, wie sie aus den Beobachtungen am Eichensschen Meridiankreis in den Jahren 1919 bis 1922 gewonnen wurden. *Messow.*

Geometrische Berechnung der Beleuchtung durch Lichtquellen von einfacher Gestalt.

Von Z. Yamanouti, *Research. Electrot. Lab. Tokyo Nr. 148. 1924. Broschüre.*

Die Beleuchtung in einem Punkt ist bekanntlich die Lichtstromdichte auf einer Fläche in diesem Punkt, senkrecht zu der betrachteten Richtung. Die maximale Beleuchtung in dem Punkt läßt sich vektoriell darstellen; die Komponenten des Vektors liegen in den Achsenrichtungen der jeweils zugrunde gelegten Koordinatensysteme, wobei Verf. sich je nach besten Verwendungsmöglichkeiten des kartesischen, des sphärischen und des zylindrischen Koordinatensystems bedient. Sind die drei Beleuchtungskomponenten bekannt, so kann die Beleuchtung E in irgend einem Punkt und in irgend einer Richtung dargestellt werden durch die Beziehung

$$E = E_1 \cos \gamma_1 + E_2 \cos \gamma_2 + E_3 \cos \gamma_3,$$

wo γ die Winkel zwischen der betrachteten Richtung von E und den Achsenrichtungen sind.

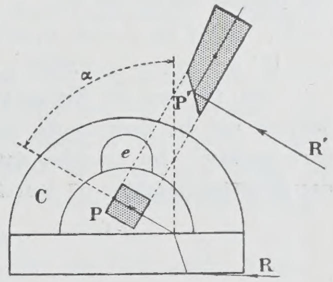
Den Lichtquellen gibt Verf. nun verschiedene einfache Formen und berechnet die Beleuchtung in verschiedenen Punkten und Richtungen. Ist die Lichtquelle punktförmig oder auch eine Kugel von einem gewissen Radius, so befolgt die Beleuchtung in jeder von der Lichtquelle ausgehenden Richtung das photometrische Gesetz vom reziproken Entfernungsquadrat; die Richtung der maximalen Beleuchtung fällt mit den von der Lichtquelle gezogenen Radiusvektoren zusammen. Wenn die Lichtquelle irgend eine andere Gestalt hat, so kann man die drei Komponenten der Beleuchtung in irgend einem Abstand von der Lichtquelle erhalten und kommt zu folgenden Ergebnissen: Für eine leuchtende gerade Linie von unendlicher Länge gilt das photometrische Gesetz streng nur in der Richtung $\frac{\pi}{3}$ gegen die Normalrichtung der Linie. Für einen Kreisring fällt die Maximalhelligkeit in die Richtung der Ringachse und ist proportional zu der Länge des Kreisringes. Im Falle einer vollständigen Kreisscheibe gilt das photometrische Gesetz streng immer in der Richtung $\frac{\pi}{4}$ gegen die Normalrichtung der Scheibe. Schließlich wählt Verf. noch als Lichtquelle einen leuchtenden Kreiszylinder und erhält unter gewissen Bedingungen vollkommene Übereinstimmung mit den Ergebnissen für die gerade Linie. Zusammenfassend läßt sich also sagen, daß das photometrische Gesetz der reziproken Entfernungsquadrate nicht überall gilt; vielmehr zeigen die Resultate, daß es wesentlich darauf ankommt, wie groß der Abstand des Aufpunktes von der Lichtquelle relativ zu den Abmessungen derselben ist. Die Abweichung vom photometrischen Gesetz ist immer Null in der Richtung $\frac{\pi}{3}$ für die gerade Lichtlinie und $\frac{\pi}{4}$ für die leuchtende Kreisscheibe. An Hand von zahlreichen, sehr sorgfältig angefertigten graphischen Darstellungen gewährt die Abhandlung einen anschaulichen quantitativen Begriff der behandelten Probleme. *Flügge.*

Präzisions-Refraktometer für Flüssigkeiten.

Von A. Lafay. *Revue d'Optique* **4**. *S. 24. 1925.*

In ein Gefäß C, welches in der Figur von oben gezeigt wird, wird ein Strahl R unter streifender Inzidenz gesandt. Richtet man auf den gebrochenen und aus dem halbrunden Gefäß wieder austretenden Strahl ein auf Unendlich eingestelltes Fernrohr, so erscheint das Gesichtsfeld zur Hälfte hell, zur Hälfte dunkel und die Ablenkung des Strahles hängt von dem Brechungsvermögen der Flüssigkeit ab.

Der neue Gedanke, welcher in diesem Instrumente verwirklicht ist, besteht darin, daß der Verf. in das Gefäß, welches nur wenige Tropfen der Flüssigkeit faßt, einen prismatischen Glasstab P taucht. Derselbe ist in P' herausprojiziert. An seinem unteren Ende ist eine spiegelnde Fläche unter 45° angeschliffen, so daß nunmehr der unter streifender Incidenz eingefallene Strahl R senkrecht nach oben in das darüberstehende Fernrohr reflektiert wird.



Durch Drehung dieses Stabes oder des Flüssigkeitsgefäßes kann der abgelenkte Strahl in das Gesichtsfeld gelenkt werden. Der Drehungswinkel wird an einer Teilung mit Ablesung durch einen Nonius auf eine Minute festgestellt.

Der Raum e dient zur Einsenkung eines Thermometers, eine elektrische Heizvorrichtung kann angebracht werden.

Um die Bestimmung bzw. Justierung des Nullpunktes der Teilung zu umgehen, schickt der Verf. unter Einschaltung eines reflektierenden Prismas an jeder Seite des Gefäßes von einer symmetrisch zu den beiden Prismen in einer Entfernung von 30—35 cm aufgestellten monochromatischen Lichtquelle sowohl von rechts als von links einen Strahl R unter streifender Incidenz in das Gefäß. Die Drehung des Prismas P von dem einen zum anderen der beiden Bilder ergibt dann den doppelten Winkel α. Der gesuchte Brechungsindex ist dann bekanntlich $n = \operatorname{cosec} \alpha$. *H. Krüss.* †

Beiträge zur Theorie des Polarimeters Martens.

Von J. Tichanowsky, *Physik. Zeitschr.* ***25.*** *S. 482. 1924.*

Der Verf. (vom Phys. Inst. d. Universität Simferopol) liefert einige theoretische Berechnungen zum Martensschen Polarisationsphotometer, deren Verständnis durch zuweilen mangelhaftes Deutsch erschwert wird und die am Schluß zu argen Irrtümern Veranlassung geben können. Da im folgenden nur die richtigen Gleichungen angeführt werden sollen, so wird diese Darstellung des Ref. an mehreren Stellen vom Original abweichen.

Die wesentlichen Teile des Photometers (*Physik. Zeitschr.* ***1.*** *S. 299. 1900*) sind das doppelbrechende Kalkspatprisma nach Wollaston, der Analysatornicol und das Königsche Biprisma, welches die photometrischen Vergleichsfelder liefert. Mit dem Photometer soll teilweise geradlinig polarisiertes Licht untersucht werden. Sein Polarisationsfaktor p ist das Verhältnis des polarisierten Lichtanteiles zur gesamten Lichtmenge, also wenn N bzw. P die Intensitäten natürlichen bzw. polarisierten Lichtes bezeichnen,

$$p = \frac{P}{N + P}.$$

Die Bestimmung von p geschieht in der Weise, daß man zunächst bei Beleuchtung mit natürlichem Lichte den Analysator auf gleiche Helligkeit der Vergleichsfelder einstellt; diese Stellung ist der Nullpunkt des Analysators, und der Einstellungsfehler dabei sei ε. In dieser Lage bildet der Hauptschnitt des Analysators mit den Hauptschnittebenen des Wollaston-Prismas Winkel von 45^0. Darauf dreht man in dem zu untersuchenden Lichte den Apparat, bis die Vergleichsfelder gleich hell erscheinen; jetzt fällt der Hauptschnitt des Analysators zusammen mit der Polarisationsebene von P oder steht zu ihr senkrecht; diese Ermittelung der Polarisationsebene sei um ω fehlerhaft. Aus dieser Gleichheitsstellung dreht man nunmehr den Apparat um 45^0 heraus und sodann den Analysator um den Winkel α auf gleiche Helligkeit der Felder. Bei fehlerfreier Beobachtung ist alsdann

$$p = \sin 2\alpha.$$

Ferner folgt, wenn g die photometrische Genauigkeit in Prozenten bezeichnet, in absolutem Bogenmaß gemessen

$$\varepsilon = \frac{g}{400} \quad \text{und} \quad \omega = \frac{g}{400\,p}.$$

Neben den zufälligen Fehlern werden durch ε und ω auch systematische Fehler hervorgerufen, die das resultierende p immer zu klein ausfallen lassen. Mit diesen Fehlern allein beschäftigt sich der Verf. Zunächst sei $\varepsilon = 0$ und nur ein Fehler ω vorhanden. Ist in diesem Falle der beobachtete Drehungswinkel des Analysators gleich α', so ergibt sich (die erforderlichen Rechnungen sind zwar einfach, aber recht langwierig) der Polarisationsfaktor streng gültig zu

$$p' = \sin 2\alpha' = p \cos 2\omega.$$

Als Beispiel nimmt der Verf. $p = 1$, $\omega = 1^0$, folglich $p - p' = 0{,}060\,^0/_0$, eine sicherlich sehr kleine Größe. Dabei ist ω noch ziemlich hoch gegriffen, denn selbst wenn wir $g = 2\,^0/_0$ setzen, wird nur $\omega = 17'$ und $p - p' = 0{,}0050\,^0/_0$, ein belangloser Fehler.

Ist zweitens die Nullpunkt-Einstellung des Analysators um ε fehlerhaft ausgefallen, so wird dadurch bei der Bestimmung der Polarisationsebene des zu untersuchenden Lichtes ein Fehler ω' hervorgerufen. Im Anschluß daran werde der Drehungswinkel α'' des Analysators beobachtet und der Polarisationsfaktor p'' berechnet. Dann ist streng gültig

$$\sin 2\omega' = \frac{\sin 2\varepsilon}{p}$$
$$\sin 2\alpha' = p \cos 2\omega'$$
$$\alpha'' = \alpha' - \varepsilon$$
$$p'' = \sin 2\alpha'' = \sin(2\alpha' - 2\varepsilon).$$

Hieraus folgt angenähert, aber mit völlig ausreichender Genauigkeit

$$p'' = p \cos 2\omega' - \sin 2\varepsilon \cos 2\alpha''.$$

Der durch ω' im ersten Gliede hervorgerufene systematische Fehler ist, wie man leicht erkennt, stets klein gegen das zweite Glied mit ε, wenn wir die Grenzfälle $p = 0$ bis etwa 0,05 und

$p = 0{,}9999$ bis 1 ausschließen. Das Glied mit ε ist überdies ein zufälliger Fehler, weil ε sowohl positiv als auch negativ sein kann. Z. B. sei $g = 2\%$, $\varepsilon = 17' 11''$, $p = 0{,}2$, $2\omega' = 2^0 51' 54''$, $\alpha'' = 5^0 28{,}5'$, so wird

$$p'' = 0{,}19975 - 0{,}00981 = 0{,}18994,$$

also Fehler durch ω' nur gleich 0,00025, dagegen Fehler durch ε gleich 0,00981.

Hinzukommen könnte noch ein Fehler $\omega = \frac{2}{400 \times 0{,}2} = 1^0 25' 57''$, so daß der durch ω und ω' verursachte Fehler im Höchstfalle

$$\Delta p = 0{,}2 - 0{,}2 \cos 2 (\omega + \omega') = 0{,}001\,00$$

wäre, mithin immer noch klein gegen den zufälligen Fehler durch ε.

Allgemein aber hat man zu schreiben

$$\Delta p = p [1 - \cos 2 (\omega \pm \omega')],$$

da ω und ω' unabhängig voneinander sind; die beiden systematischen Fehler können sich daher auch teilweise oder ganz gegen einander aufheben. Überdies sind oben die Fehler ε (und damit ω') und ω unnötig groß gewählt worden, denn in ihrem Einfluß auf das Resultat können sie durch entsprechende Häufung der Einstellungen merklich verringert werden. Nehmen wir z. B. $\varepsilon = 3'$ und $\omega = 20'$, so wird höchstens $\omega + \omega' = 35'$, $\Delta p = 0{,}000041$, $\alpha'' = 5^0 43{,}0'$ (fehlerfrei wäre $\alpha = 5^0 46{,}1'$) und $\sin 2\varepsilon \cos 2\alpha'' = 0{,}001711$, ein Fehler, gegen welchen Δp wieder verschwindend klein ist.

Wir gelangen daher zu dem Schlußresultat, daß praktisch der Einfluß der systematischen Fehler ω und ω' auf den Wert des Polarisationsfaktors p für gewöhnlich vollkommen vernachlässigt werden darf. *Schck.*

Bücherbesprechungen.

K. Schoy, Die Gnomonik der Araber. VIII, 95 S. 30 Abbild. u. 9 Tab. Ver. wiss. Verleger, Berlin-Leipzig 1923.

Vor längerer Zeit ist das zweite Heft (Band I, Lieferung F) des großen Werkes, das Prof. Dr. E. v. Bassermann-Jordan, München herausgibt, erschienen. Der Verfasser dieses Heftes, der durch seine Schriften über die Gnomonik bekannt ist, hat die Gnomonik der Araber zum Gegenstand seiner Betrachtungen gemacht. Er stützt sich dabei auf die gelegentlichen Ausführungen eines der größten arabischen Gelehrten, des Al Battānī († 929), dessen astronomisches Werk der bekannte italienische Orientalist Nallino 1903—1907 arabisch und lateinisch mit einem ausführlichen Kommentar herausgegeben hat; vor allem benutzte aber Schoy die einschlägigen Kapitel der Ḥākimitischen Tafeln des Ägypters Ibn Yūnus († 1009) und die französische Übersetzung des Werkes von Abū'l Ḥasan Marrākuschī († ca. 1260) von J. J. Sédillot.

Der Gnomon war ein zu einer ebenen Fläche senkrechter Stab von spitz zulaufender Form. Die Länge bzw. die Richtung seines Sonnenschattens wurde zur Zeitbestimmung verwendet. Bei den Arabern wurde die Stablänge, die als Maß für die Schattenlänge diente, in 12 Finger (1 Finger ca. 2,1 mm) oder in 60 Teile unterteilt bzw. in 7, $6^2/_3$ und $6^1/_2$ Füße, wobei letztere Größe als Durchschnittsmaß für die menschliche Körperlänge angenommen war. Je nach der Form der Auffangfläche unterscheidet man verschiedene Sonnenuhren. Die einfachste und verbreiteste war die Horizontalsonnenuhr, deren Auffangfläche eine horizontal gelegte Tafel aus Holz, Stein, Marmor mit vertikalem Schattenwerfer war. Dieser Zeitmesser war aber schon lange vor den Arabern bekannt und soll nach Vitruv von Aristarch stammen. Daß die Arachne (Spinne) des Eudoxus eine Horizontal- oder Azimutalsonnenuhr gewesen sei, dürfte nach den Ausführungen von P. Tannery (*Mém. de la Soc. des sc. phys. et nat. de Bordeaux, Sér. IV.* **1**, *1893, S. 54*) nicht zutreffend sein. Auf der ebenen Fläche sind die Linien gezogen, längs deren der Schatten der Stabspitze im Laufe des Tages wandert, wenn die Sonne im Tierkreiszeichen Krebs, Widder und Steinbock sich befindet. Daß diese Linien Kegelschnitte sind, hat schon Ṯābit b. Qurra († 901) nachgewiesen, wie *E. Wiedemann* und *J. Frank* in *Det Kgl. Danske Videnskabernes Selskab, Math.-fysiske Meddelelser IV*, **9**,

S. 1 uff. zeigen. Die Schattenlinien werden von Geraden geschnitten, die die Stundenlinien darstellen. Unter Stunde ist nicht der uns geläufige Zeitraum zu verstehen, sondern der 12. Teil des Tag- bzw. des Nachtbogens der Sonne. Diese Stunde variiert also im Laufe des Jahres, ist aber auch am gleichen Tage von Ort zu Ort verschieden. Gerade sind diese Stundenlinien nur in erster Annäherung. Außer den Linien für die 12 Stunden trägt das Zifferblatt auch die für die Zeiten der fünf täglichen Gebete der Muslime. Der Verfasser bespricht nur die ʿAṣr-Linie, die den Zeitpunkt für die Verrichtung des Nachmittagsgebetes angibt. Für diesen Zeitpunkt gibt es mehrere Definitionen, die sich auf verschieden festgelegte Längen des Schattens eines vertikalen Gegenstandes beziehen. Die Bezeichnung „erstes, zweites ʿAṣr" ist nicht recht verständlich, da nach dem muslimischen Ritus die Zeitspanne, innerhalb der das Gebet verrichtet werden muß, begrenzt ist durch den Zeitpunkt für das Ende des vorhergehenden Gebetes und durch den für den Anfang des folgenden. Ich vermute, daß zwischen dem ersten und zweiten ʿAṣr die Zeit liegt, während der die Verrichtung der Gebete Allah besonders angenehm ist, also nach Slane „die beste Zeit" darunter zu verstehen ist. Ferner ist auf dem Zifferblatt noch die Qibla-Linie angegeben, d. h. die Himmelsrichtung, in der vom Stand des Schattenwerfers aus die heilige Stätte Mekka liegt. Dieser Richtung muß sich der Muslime beim Beten zuwenden.

Aus der Lage des Schattens der Gnomonspitze zu den Stundenlinien kann man die Stunde, aus der Schattenlänge die Höhe der Sonne und daraus ihr Azimut bestimmen. Da die Lage der Stundenlinien sich von Ort zu Ort ändert, kann man auch die Breite des Ortes, für den die Sonnenuhr konstruiert ist, aus dem Zifferblatt ermitteln. Dieser Aufgabe ist das letzte Kapitel des Heftes besonders gewidmet. Für diese Probleme wie für die Konstruktion der Sonnenuhren in den verschiedensten Formen überhaupt gibt Schoy die Theorie mit Hilfe der modernen Mathematik. Es ließe sich wohl darüber streiten, ob diese moderne Theorie nicht besser in einem Anhang gegeben worden wäre, um die historische Darstellung nicht auseinanderzureißen. Besonders wertvoll wäre eine Darstellung der Theorie, die die Araber auf Grund ihrer damaligen Mathematikkenntnisse gaben.

Eine andere einfache Art der horizontalen Sonnenuhr erhält man, wenn man nach Marrākuschī auf einer Geraden in gleichen Abständen Punkte abträgt, denen man die Tierkreiszeichen und ihre Teile zuordnet, und senkrecht dazu die Schattenlängen des Gnomons zu den einzelnen Stunden aufträgt. Die Verbindung der zusammengehörigen Endpunkte liefert die betreffende Stundenlinie. Bei dieser Sonnenuhr ist die Lage des Gnomons nicht fest; er muß immer in dem Punkt aufgestellt werden, dem die Lage der Sonne im Tierkreis entspricht. Eine genaue vertikale Richtung des Gnomons dürfte dabei nicht gewährleistet sein. Die Uhrebene muß beim Messen so orientiert werden, daß der Schatten in die Richtung der zugehörigen Ordinate fällt. Bei tiefem Sonnenstand werden die Schattenlängen sehr groß, man fängt daher auf einer vertikalen Ebene den Schatten eines horizontalen Gnomons auf; man mißt also statt der Kotangente die Tangente der Sonnenhöhe. Die Linien auf einer solchen Vertikaluhr werden — es ist wohl eine Annahme Schoys — in folgender Weise konstruiert: Der Deckkreis eines vertikalen Zylinders wird in die Teile des Tierkreises eingeteilt, auf der durch einen solchen Teilpunkt gehenden Mantellinie der vertikale Schatten zu einer bestimmten Stunde des an ihrem Ende aufgestellten Gnomons abgetragen. Die Verbindung all dieser Endpunkte gibt die Stundenlinie. Die so bezeichnete Mantelfläche abgerollt in eine Ebene gibt den vertikalen Teil der Sonnenuhr mit beweglichem Gnomon.

Eine spezielle horizontale Sonnenuhr ist der Ḥāfir, bei dem die örtlichen Stundenlinien die Gestalt einer Klaue (daher der Name) haben, und der Ḥalazūn, dessen Stundenlinien durch Schneckenlinien dargestellt sind. Nach der Abbildung sind auf einem Kreis die Tierkreiszeichen so abgetragen, daß die nördlichen einen kleineren Bogen umfassen als die südlichen (stereographische Projektion des Tierkreises?). Vom Schnittpunkt der Verbindungslinie vom Widder und Wage einerseits und der vom Krebs und Steinbock andererseits (nicht vom Mittelpunkt des Kreises!) sind die (wohl horizontalen) Schattenlängen zu den einzelnen Stunden auf den Radien, die zu den einzelnen Tierkreispunkten laufen, abgetragen, und die Endpunkte verbunden. Der Gnomon dürfte in dem Ausgangspunkt der Radien Aufstellung gefunden haben und das Zifferblatt bei der Messung wie oben orientiert worden sein.

Die vertikale Sonnenuhr wird eingehend zuerst von Ibn Yūnus beschrieben. Die Ebene der Uhr kann in der Nord-Südrichtung oder in der Ost-Westrichtnng aufgestellt sein. Bei der ersteren Uhr zeigt der horizontal gerichtete Gnomon nach Osten für die vormittägige Bestimmung, nach Westen für die am Nachmittag. Wenn die Sonne im Äquator steht, ist die Schattenlinie eine Gerade durch den Fußpunkt des Gnomons; wenn sie aber sich in einem Parallelkreis zum Äquator bewegt, Teile eines Kegelschnittes, den die Ebene des Zifferblattes, also die Meridianebene, von dem Kegel ausschneidet, dessen Grundkreis dieser Parallelkreis und dessen Spitze in dem Ende des Gnomons liegt. Auch hier wäre es wünschenswert, zu wissen, auf welchem mathematischen Wege Ibn Yūnus die Beziehungen gefunden hat. Die Zeichnung der Stundenlinien ist nicht weiter ausgeführt. Bei der in die Ost-Westrichtung orientierten Sonnenuhr zeigt der Gnomon nach Süden bzw. nach Norden. Die Schattenkurve ist für den Tag, in dem sich die Sonne im Äquator bewegt, eine horizontale Gerade, die unterhalb des Fußpunktes des Gnomons verläuft; die Schattenlinie für die Stellung der Sonne im Steinbock ein Hyperbelstück, dessen Scheitel in der Vertikalen durch den Fußpunkt liegt, und für die Stellung im Krebs eine ähnlich gelegene Hyperbel, die zum Teil auf der nach Norden liegenden Seite des Zifferblattes mit den unendlich ernen Ästen liegt. Die vertikale Sonnenuhr kann aber auch irgend einen Winkel mit den vier Himmelsrichtungen bilden. Die Schattenlinie für den Äquator ist wieder eine Gerade und für die beiden Wendekreise Hyperbelstücke. Die allgemeine mathematische Behandlung dieser Sonnenuhren ist sehr schwierig. Vereinfachte Annahmen ermöglichten den Arabern die Konstruktion. Bei der allgemeinsten Form dieser Sonnenuhr hat das Zifferblatt nicht nur eine beliebige Himmelsrichtung, sondern auch eine beliebige Neigung zur Horizontalen. Zu ihrer Konstruktion gibt Marrākuschī an, daß eine solche Sonnenuhr als eine Horizontalsonnenuhr für einen Ort, dessen Breite gleich dem Komplement der Neigung des Zifferblattes ist, und dessen Azimut mit seiner Himmelsrichtung zusammenfällt, anzusehen ist. Schoy gibt eine moderne Begründung der von Marrākuschī angegebenen Regel. Als speziellen Fall behandelt dieser die Sonnenuhr, deren Neigung mit der des Äquators an dem betreffenden Ort zusammenfällt und dessen Gnomon die Richtung der Weltachse hat. Obwohl eine solche Uhr die abendländische Äquatorialuhr ist, kann man doch nicht, wie Schoy mit Recht betont, Marrākuschī als Erfinder dieser Uhr ansehen.

Verschiedene Verbindungen der genannten Sonnenuhren zu einem gemeinsamen Zifferblatt führen zu verschiedenen Variationen, von denen 8 aufgezählt werden. Sie müssen, wenn nicht als Spielereien, so doch als Liebhabereien aufgefaßt werden.

Der Verf. bespricht kurz im 9. Kapitel die Kugel-, Kegel- und Zylinderuhren, also solche mit gekrümmtem Zifferblatt. Die älteste ist die Kugeluhr, die Skaphe der Alten, eine Hohlkugel, auf der der Schatten von der Spitze des Gnomons, die gerade im Mittelpunkt der Kugel sich befindet, Kreise beschreibt. Eine typische kegelförmige Sonnenuhr ist eine von E. Wiedemann und J. Würschmidt beschriebene Reiseuhr, die aus einem zylindrischen Sockel und einem darauf drehbaren Kegelstumpf besteht, dessen Mantelfläche das Zifferblatt bildet. Seine Konstruktion ist ähnlich der für die vertikale Auffangfläche der Horizontalsonnenuhr. Der horizontale, auf der Deckfläche des Kegelstumpfes bewegliche Gnomon wird zur Zeitbestimmung auf den dem betreffenden Tag entsprechenden Teilpunkt eingestellt und der Sonne zugekehrt. Der Schatten fällt auf die Linie der gesuchten Stunde. Auch der Sockel trägt eine Teilung zur Bestimmung der Qibla und des ʿAṣr. Um diese Sonnenuhr für verschiedene Orte gebrauchen zu können, ist sie mit verschieden langen Zeigern ausgerüstet. Allerdings sind dann die Angaben der Zeiten nicht mehr richtig. Zur Konstruktion des Zifferblattes der von Marrākuschī beschriebenen Zylinderuhr, dessen Achse zum Horizont verschiedene Lagen haben kann, trägt man auf dem Umfang des Deckkreises die Azimute der Sonne zu den 12 Stunden, wenn sie sich im Zeichen des Krebses, des Widders und des Steinbocks befindet, ab und auf der zugehörigen Mantellinie die Schattenlänge des Gnomons, der horizontal auf der Deckfläche gelagert ist. Die Verbindung der Endpunkte gibt ein Abbild der Bahnen der Sonne. Zur Messung wird der bewegliche Gnomon bei Orientierung des Zylinders in die Nord-Südrichtung so lange gedreht, bis sein Schatten mit dem am Gnomon befindlichen Lot zusammenfällt.

Das Heft trägt, wie sein Vorgänger, ein prunkvolles äußeres Gewand.

J. Fr.

R. T. Gunther, *Early Science in Oxford, Oxford University Press. 1921—23. 2 Bände.*

Die Universität Oxford hat in dem geistigen Leben Englands eine so bedeutende Rolle gespielt, daß eine Geschichte der naturwissenschaftlichen Bestrebungen in Oxford auch für die Erforschung des geistigen Lebens in England sehr wichtig ist. Das vorliegende Werk behandelt allerdings nicht alle Naturwissenschaften, sondern beschränkt sich auf Chemie, Mathematik, Physik, Wetterkunde und Erdmessung im 1. Bande und auf die Sternkunde im 2. Bande. Den Inhalt des Werkes bildet hauptsächlich eine Beschreibung der in Oxford vorhandenen Geräte. Welchen Reichtum an Geräten, besonders sternkundlichen, Oxford besitzt, geht daraus hervor, daß sich dort 33 morgenländische Astrolabe befinden, weit mehr als in Deutschland und Österreich zusammen! Verfasser beschränkt sich aber nicht auf die Beschreibung der Geräte. Mit Hilfe der in Oxford vorhandenen Handschriften und an Hand der Literatur, besonders der deutschen, erweitert er die Beschreibung zu einer Geschichte der wissenschaftlichen Geräte einerseits; andererseits wird durch die Einpassung dieser Beschreibungen in den Rahmen der wissenschaftlichen Bestrebungen Oxfords, zusammen mit einer Schilderung ihrer Hauptvertreter und ihrer wissenschaftlichen Anstalten ein umfassendes Bild des geistigen Lebens in Oxford gegeben. Zahlreiche gute Abbildungen sowohl von Geräten als auch von Handschriften und von Gelehrten tragen zur Veranschaulichung bei.

Ein großer Teil des Werkes ist dem 14. Jahrhundert, der einen Blütezeit Oxfords gewidmet. Hauptsächlich war es die Sternkunde, die damals eifrig betrieben wurde. Gelehrte wie Maudith, Walingford, Rede und Merle förderten durch Beobachtung, Berechnung von Planetentafeln und durch Anweisungen zur Anfertigung von Geräten die Sternkunde und damit Mathematik, Wetterkunde und Erdmessung. Zu der Blüte der Wissenschaft trug aber auch das Anwachsen der Universitätsbibliothek an Handschriften und Geräten bei. Dank der günstigen politischen Verhältnisse Englands konnte Oxford diesen Schatz zum Teil sich erhalten, so daß es mit seiner Hilfe möglich ist, die wissenschaftlichen Bestrebungen dieser Zeit gut darzustellen, was für eine deutsche Universität unmöglich wäre. Allerdings hat sich die von Walingford im Jahre 1320 für St. Albans erbaute Uhr mit Bewegung der Sonne, Mond und Sterne und Angabe der Gezeiten nicht erhalten, aber sicherlich stammen einige der ältesten vorhandenen Astrolaben und Quadranten noch aus dieser Zeit, und von anderen Geräten sind viele Zeichnungen überliefert. Von einigen dieser Geräte, nämlich vom Türkengerät, sowie Walingfords Rechtwinkel und Albion veröffentlicht Verfasser zum ersten Male den Wortlaut des Textes der lateinischen Anweisung zur Herstellung und zum Gebrauch der Geräte. Von den beiden Geräten des Walingford dient das Albion zur Darstellung der Planetenbewegungen. Das Rechtwinkel ist ein beachtenswerter Versuch, Winkel aller Art zu messen.

Die jetzt in Oxford befindlichen Geräte stammen außer aus der mittelalterlichen Blütezeit hauptsächlich aus der Radcliff-Sternwarte, aus der im 17. Jahrhundert entstandenen Sammlung des Lord Orrery und aus der erst kürzlich der Universität geschenkten, ganz außerordentlichen Sammlung von L. Evans. Alle Geräte werden eingehend beschrieben und abgebildet. Ihre Vorläufer und Vorbilder werden nachgewiesen. Von den Verfertigern werden die wichtigsten Lebensumstände erwähnt. Ferner sind den meisten Geräten wie Astrolaben und anderen sehr brauchbare Übersichten über die Verfertiger, geordnet nach Volk und Zeit, beigegeben. Alles dieses macht das Werk zu einem sehr wichtigen Nachschlagewerk über die Geräte bis zum Anfange des 19. Jahrhunderts, mit besonderer Berücksichtigung der englischen Geräte. *E. Zinner.*

O. S. Chwolson, Lehrbuch der Physik. IV. Bd. 1. Abt.: Das konstante elektrische Feld. 2., verb. und verm. Aufl. 8⁰. VIII, 432 S. m. 154 Abb. Herausgegeben von Gerhardt Schmidt. Braunschweig, Friedr. Vieweg & Sohn 1925. Geb. 16 R.-M.

Der ersten Auflage von 1908 folgt hier als zweite die Übersetzung der neuesten russischen Ausgabe unter Berücksichtigung der Literatur bis 1924. Der für die sämtlichen folgenden Darstellungen grundlegende Band ist von besonderer Klarheit und Einfachheit der Gliederung. Den fünf umfangreichen Kapiteln über die Eigenschaften, die Quellen, die Wirkung des elektrischen Feldes, über elektrostatische Messungen und über die Elektrizität der Atmosphäre ist als Einleitung eine „Charakteristik des gegenwärtigen Standes der Wissenschaft von den elektrischen und magnetischen Erscheinungen" vorangestellt, die von hohem didaktischen Wert ist und die außerordentliche Lehrerfahrung Chwolsons sinnfällig bestätigt. *G.*

Nachdruck verboten.

Verantwortlich für die Redaktion: Oberregierungsrat Professor Dr. F. Göpel in Charlottenburg.
Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Kuratorium:

Prof. Dr. **R. Straubel**, Prof. Dr. **F. Weidert**, geschäftsführendes Mitglied.

Schriftleitung: Oberregierungsrat Prof. Dr. **F. Göpel** in Charlottenburg-Berlin.

XLV. Jahrgang. **September 1925.** Neuntes Heft.

Florenz Sartorius †

Mit Florenz Sartorius ist am 1. August ein Mann aus dem Leben geschieden, der mit seinen Arbeiten noch weit in das vorige Jahrhundert zurückreicht und damals im Verein mit den Gelehrten der Georgia Augusta seine Tätigkeit auszuüben das Glück hatte. Vor allem trat er in nähere Beziehungen zu dem Chemiker Wöhler, auf dessen Veranlassung und Mitwirkung Sartorius die ersten Versuche mit der Einführung des 1827 von Wöhler entdeckten leichten Aluminiums in die Feinmechanik, speziell zur Herstellung kurzarmiger Wagebalken machte, durch die seine Werkstätte bald eine führende Stellung auf dem Gebiete des Baues feinster Analysenwagen gewann. Im Jahre 1846 als Sohn des Universitäts-Uhrmachers Sartorius in Göttingen geboren, hat er auch da bei dem damaligen Universitäts-Mechaniker W. Apel seine Lehrzeit durchgemacht und sich bei der vielseitigen Tätigkeit, die dieser Werkstätte zufiel, zu einem guten Feinmechaniker ausgebildet. Dann arbeitete er noch in verschiedenen Werkstätten Deutschlands, besonders bei Staudinger in Wetzlar, wo er die für die weitere Entwickelung seiner Arbeiten besonders wichtigen Erfahrungen im Bau feiner Wagen sich aneignete. Auch hat er eine Zeitlang bei Siemens & Halske und bei H. Schröder in Hamburg sich mit optischen Arbeiten beschäftigt. Im Jahre 1870 kehrte er nach Göttingen zurück und richtete da eine kleine Werkstätte ein. Die Anregungen, welche er in den Vorträgen von W. Weber und besonders Wöhler gewonnen hatte, gaben ihm die Möglichkeit, neben seiner mechanischen Kunst auch den Anforderungen, die gerade in Göttingen von den wissenschaftlichen Werkstätten gestellt werden, mit Verständnis zu genügen. Vor allem beschäftigte ihn die Konstruktion empfindlicher Wagen, die neben der Empfindlichkeit, wie sie die üblichen langarmigen Wagen gaben, auch den Interessen der Industrie durch schnelles Arbeiten, also kurze Schwingnugsdauer, gerecht werden sollten. Dazu gehörten kurzarmige Balken mit möglichst geringem Trägheitsmoment, also geringem Gewicht, bei zuverlässigster Stabilität. In diesen Bestrebungen kam ihm nun gerade Wöhler zu Hilfe, indem er ihm die Anwendung des Aluminiums empfahl. Er beschaffte Sartorius das damals noch kostspielige Material, und dieser ging sofort ans Werk; es gelang bald zweckmäßige Formen von Wagebalken herzustellen, und schon

die ersten Instrumente dieser Art erregten allgemeines Aufsehen und fanden auf dem Tisch des Chemikers und Physikers sowohl als auch, was für die finanzielle Seite von großer Bedeutung war, in der chemischen Technologie und ähnlichen Betrieben ausgedehnte Verwendung. In Bremen 1874 wurde der jungen Werkstätte dafür die höchste Auszeichnung zuteil.

Die Göttinger Werkstätte mußte fortwährend vergrößert werden; ein damit verbundenes Ladengeschäft wurde wieder aufgegeben, damit Fl. Sartorius sich ganz den Werkstätten widmen konnte, die auch andere Fabrikationszweige aufgenommen hatten. Dazu gehörten die Brutöfen zunächst nur zur Geflügelzucht, später aber auch zu physiologischen, bakteriologischen und hygienischen Zwecken in feinster Vervollkommnung. Das Problem der Erhaltung konstanter Temperaturen hatte Fl. Sartorius auf diese Apparate gebracht. In den ersten Jahren dieses Jahrhunderts wurden die Werkstätten mit dem Eintritt seiner vier Söhne in das Geschäft durch den Ankauf der bekannten Fabrik geodätischer und astronomischer Instrumente von L. Tesdorpf (Stuttgart) und derjenigen von Aug. Becker (Göttingen), welche speziell durch die Herstellung aller Arten von Mikrotomen einen Ruf genoß, ganz bedeutend erweitert. Der nie ruhende Geist Sartorius' dachte aber immer noch an Ausdehnung des Geschäftsbereiches, z. B. nahm er im Verein mit seinem jüngsten Sohne noch die Herstellung feiner Angelgerätschaften auf. Da aber kam der Ausbruch des Krieges und trat zunächst hemmend in alle die Unternehmungen ein, jedoch die ausgedehnten Anlagen durch die Übernahme der Herstellung von feineren Teilen des Kriegsmaterials konnten in Betrieb erhalten werden. Mit der Umwandlung der Sartoriusschen Werkstätten in eine Aktien-Gesellschaft, die wegen der Ausdehnung des Betriebes sich als wünschenswert erwies, schied auch Fl. Sartorius als eigentlicher Leiter aus und zog sich nach seiner Besitzung in Rauschewasser bei Bovenden zurück, wo er auch schon früher einmal einen Teil des Betriebes eingerichtet hatte. Aber der fast Siebzigjährige gönnte sich auch dort keine Ruhe, immer neue Ideen suchte er zu verwirklichen, bald auf seinem eigenen Tätigkeitsfelde, bald in allgemeinerer Richtung. Erst in den letzten Tagen vor seinem Tode ist dieser rege Geist erlahmt und nach kurzem Leiden im 79. Jahre eines tatenreichen Lebens verschieden, nachdem ihm seine erste Gattin, die ihm während langer Jahre eine treue Gefährtin und Gehilfin gewesen, schon lange vorangegangen war.

Ein Feinmechaniker der alten Schule, der selbst mit jedem Zweige seiner Kunst vertraut war und sich leicht und gern mit den Anforderungen, die Wissenschaft und Industrie an die Erzeugnisse seiner Arbeiten stellte, abzufinden wußte, ist mit Fl. Sartorius aus dem Leben geschieden. Auch der Deutschen Gesellschaft für Mechanik und Optik hat er lange Jahre angehört und im weiteren Kreise für den Ausbau der Technik und zweckmäßiger Arbeitsmethoden, die ihm besonders am Herzen lagen, ebenso gewirkt, wie für die Heranbildung des wünschenswerten Nachwuchses für die wirklich feinmechanischen Arbeiten, wozu er als Mitglied des Kuratoriums der Fraunhofer-Stiftung Gelegenheit fand. **L. Ambronn.**

Die Messung der Sicht mit dem Sichtmesser.

Von

Prof. Dr. **A. Wigand** in Halle a. d. S.

1. Literatur.

1. **Stufen-Sichtmesser.** *Physikal. Zeitschr.* ***20.*** *S. 151. 1919; Meteorolog. Zeitschr.* ***36.*** *S. 342. 1919; Annal. d. Hydr. u. marit. Meteorol.* ***47.*** *S. 134. 1919.*

2. **Blenden-Sichtmesser.** *Physikal. Zeitschr.* ***22.*** *S. 484. 1921; Meteorolog. Zeitschr.* ***38.*** *S. 349. 1921; Das Wetter 1922. S. 54.*

3. **Keil-Sichtmesser.** *Meteorol. Zeitschr.* ***41.*** *S. 216. 1924.*

4. **Theorie der Sichtmessung.** *Physikal. Zeitschr.* ***23.*** *S. 277. 1922.*

5. **Präzisierung der Sichtmessung.** *Physikal. Zeitschr.* ***25.*** *S. 212. 1924.*

6. **Vertikal-Sichtmessung.** *Physikal. Zeitschr.* ***25.*** *S. 263. 1924; Meteorol. Zeitschr.* ***40.*** *S. 365. 1923.*

2. Bedeutung der Sichtmessung.

Die Bestimmung der Sicht geschieht seit langem in der Meteorologie sowie bei der Schiffahrt und Luftfahrt durch Schätzung nach dem Augenschein, wobei man als Sichtweite die Entfernung angibt, bis zu der man ein Ziel noch eben erkennen kann. Da dieses Verfahren zwar bequem, aber an Genauigkeit nur roh, mit großen persönlichen Fehlern behaftet und in Ermangelung geeigneter Ziele in allen Entfernungen nicht allgemein verwendbar ist, so sind auch die Gesetzmäßigkeiten, nach denen die Sicht zustande kommt und sich ändert, noch wenig erforscht; und nur auf der Kenntnis solcher Gesetzmäßigkeiten kann eine Sichtvorhersage oder eine Wettervorhersage aus Sichtbeobachtungen beruhen.

Zur quantitativen Sichtbestimmung ist daher ein genaueres Meßverfahren erforderlich, wie es in einfacher Form von allgemeiner Brauchbarkeit in der Methode des Wigandschen Sichtmessers vorliegt. Man ist mit diesem Sichtmesser nicht auf solche Ziele beschränkt, die sich an der Grenze der Erkennbarkeit befinden, sondern man kann auch Ziele, die wesentlich näher als die Sichtweite liegen, zur Messung verwenden. Das Verfahren ergibt exakte Messungsergebnisse für jegliche Lufttrübung im Freien und damit quantitative Angaben von objektivem Wert über die Stärke des Nebels und des Dunstes in der Atmosphäre.

Die große praktische Bedeutung eines solchen Meßverfahrens für Luftfahrt und Schiffahrt ist ohne weiteres einleuchtend. In der nautischen Praxis ist der Wert solcher genauer Sichtmessungen, auch für Distanzbestimmungen, voll erkannt worden (F. Dannmeyer, *Schiffahrtszeitschrift „Hansa“*, Hamburg, **59.** *Nr. 22, S. 655; Nr. 24, S. 728 und Nr. 25. 1922.* „Über exakte Sichtmessung“). Es liegt im Interesse der Einheitlichkeit und übereinstimmenden Richtigkeit der Angaben über die Sicht, daß auf allen Beobachtungsstationen mit demselben, an die gleiche Normalskala angeschlossenen Instrument gearbeitet wird.

3. Prinzip des Meßverfahrens.

Das Verfahren der Bestimmung der Sicht mit dem Sichtmesser ist eine Null-Methode. Der Grundgedanke bei der Messung ist der, daß zu der jeweils vorhandenen, in der Güte der Sicht zum Ausdruck kommenden Trübung der Luft eine künstliche Trübung in dem Maße hinzugefügt wird, daß ein ins Auge gefaßtes Ziel gerade eben nicht mehr erkennbar wird. Dabei sind unter „Trübung der Luft“ alle die Faktoren zusammengefaßt, die zwar physikalisch und physiologisch sehr verschiedene

Natur haben, aber gemeinsam jene optische Wirkung hervorbringen, die man als „Sicht“ bezeichnet.

Die „künstliche Trübung“ wird von Lichtfiltern erzeugt. Diese Filter tragen geeignet beschaffene, getrübte Schichten, deren Trübung entweder stufenweise (beim Stufen-Sichtmesser) oder stetig (beim Blenden-Sichtmesser und beim Keil-Sichtmesser) geändert werden kann.

4. Beschreibung der Instrumente.

Stufen-Sichtmesser (Fig. 1).

Ein Satz von Mattglasfiltern mit abgestufter Trübung ist in einer drehbaren Scheibe so angeordnet, daß die einzelnen Filter revolverartig vor das Auge gebracht werden können. Diese Filter sind entsprechend dem Grade ihrer Trübung mit 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 beziffert und für grobe Einstellung bestimmt. Ein weiteres Filter mit dem Trübungsgrad 1 zur feineren Einstellung ist auf einer kleineren, zweiten drehbaren Scheibe so angebracht, daß es zu dem jeweils vor dem beobachtenden Auge befindlichen geradzahligen Filter hinzugefügt werden kann. Dadurch ist die Einstellung jeder ganzzahligen Filterzahl zwischen 0 und 15 möglich. Zwischen den 15 ganzzahligen Stufen kann man noch mit einer Genauigkeit von einigen Zehnteln interpolieren.

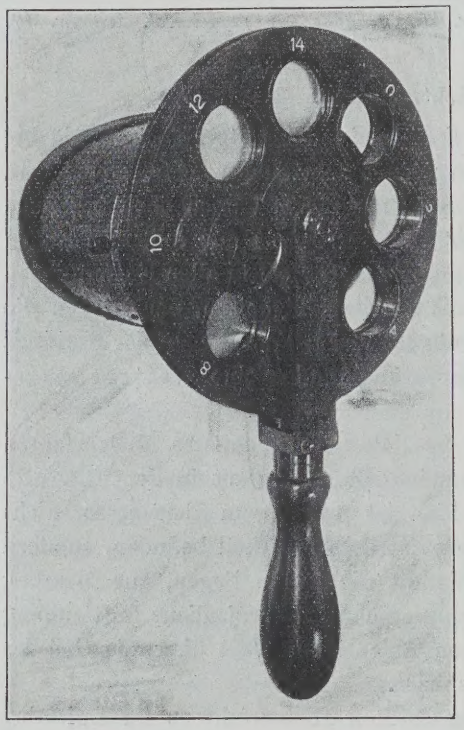


Fig. 1. Stufen-Sichtmesser.

Die Beobachtung wird einäugig ausgeführt. Je nachdem, ob der Beobachter besser rechts- oder linksäugig arbeitet, kann er den Sichtmesser für seinen Gebrauch leicht verstellen. Eine der Gesichtsform angepaßte Maske verhindert den Eintritt störenden Seitenlichtes und schaltet das nicht beobachtende Auge mühelos aus. Ein Handgriff befindet sich unten an dem Instrument.

Blenden-Sichtmesser.

An Stelle der unstetigen Veränderlichkeit der Filtertrübung des Stufensichtmessers tritt beim Blenden-Sichtmesser stetig veränderliche Filtertrübung, wodurch das Instrument konstruktiv einfacher, wenn auch beschränkter verwendbar wird.

Die überwiegend auf Lichtzerstreuung beruhende Trübung eines Mattglases kann man stetig verändern durch Änderung der Beleuchtungsstärke des Mattglases. Das geschieht einfach mit einer Irisblende.

Ein Mattglas vom Trübungsgrad 14—15 des Stufen-Sichtmessers sitzt an dem mit Okularmuschel versehenen Ende eines Rohres. Das andere Rohrende ist mit einer Irisblende abgeschlossen, deren Verstellhebel auf einer in Trübungsgrade geteilten Skala spielt. Die Länge des Rohres kann durch ein zwischengestecktes Rohrstück verändert werden, so daß zwei verschiedene Rohrlängen zur Verfügung stehen. Die Skala der Irisblende hat dementsprechend für jede der beiden Rohrlängen eine be-

sondere Teilung, die durch Vergleichung mit der Skala des Stufen-Sichtmessers geeicht ist und den Trübungsgrad nach der Normalskala des Stufen-Sichtmessers angibt. Die Teilung ist für kurze Rohrlänge mit „*k*", für lange Rohrlänge „*l*" bezeichnet.

In einer andern Ausführungsform des Blenden-Sichtmessers besitzt das Rohr statt des Verlängerungsstückes einen Ausziehtubus.

Keil-Sichtmesser (Abb. 2).

Der Keil-Sichtmesser ist ein Instrument mit stetig veränderlicher Filtertrübung (wie der Blenden-Sichtmesser), jedoch mit gleicher Meßgenauigkeit und gleich allgemeiner Verwendbarkeit wie der Stufen-Sichtmesser. Im Vergleich mit diesem ist der Keil-Sichtmesser aber handlicher und billiger.

Eine kreisförmige Glasplatte trägt einen Trübungs-Kreiskeil (Fabrikat der Ica A.-G., Dresden), d. h. eine ringförmige, mattglasartig getrübte Schicht, deren Trübung sich entlang dem Ringumfang entsprechend der Skala des Stufen-Sichtmessers annähernd linear ändert. Dieser Kreiskeil sitzt drehbar in einer lichtdichten Kapsel, die eine Visieröffnung freiläßt. Die Skala gibt an, welchen Trübungsgrad die vor der Visieröffnung befindliche Stelle des Mattkeils besitzt, und ist durch Vergleich mit der Normalskala des Stufen-Sichtmessers geeicht. Einstellung auf Zehntel-Trübungsgrade ist möglich.

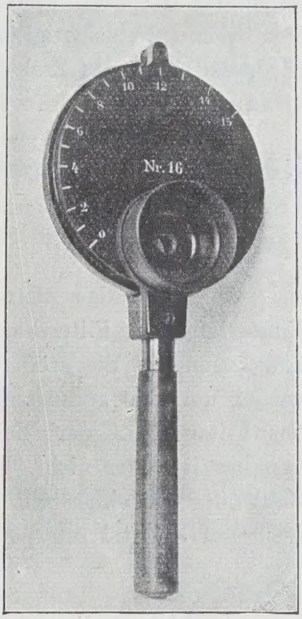


Fig. 2. Keil-Sichtmesser.

5. Vorschrift zur Ausführung der Beobachtungen.

Allgemeines.

Als Ziel wird für horizontale Sichtmessung am Boden ein erhöhtes Objekt im Gelände genommen, das sich deutlich vom Horizont abhebt (z. B. Turm, Haus, Schornstein, Baum, Bergspitze, Schiffsaufbauten). Als normale Größe des Ziels gilt 0,3 bis 0,4° Höhe und Breite. Ist die scheinbare Zielgröße kleiner, so findet man eine zu kleine Filterzahl mit dem Sichtmesser; ist sie größer, so wird die eingestellte Filterzahl zu groß.

Will man kleinere Ziele benutzen, besonders bei guter Sicht weit entfernte, so empfiehlt sich die Verwendung eines Fernglases, vor dessen Objektiv der Sichtmesser gehalten wird, so daß sich das Auge am Fernglasokular befindet. Man muß dann den Trübungsgrad der Fernglasoptik durch vergleichende Sichtmessungen mit und ohne Fernglas bestimmen und zu dem mit dem Sichtmesser eingestellten jeweiligen Trübungsgrad hinzuzählen, wobei aber dem Einfluß der Zielgröße Rechnung zu tragen ist (Lit. Nr. 5). Beobachtungen mit Fernglas zwischen Sichtmesser und Ziel sind weniger zu gebrauchen, da hierbei die Trübung des Mattglases verkleinert wird infolge seiner durch Vorschaltung des Fernglases veringerten Beleuchtung.

Die Seehöhe des Ziels soll von der des Beobachters nicht erheblich abweichen. Die Entfernung des Ziels soll auf mindestens 3% genau bekannt sein. Für die meisten vorkommenden Fälle wird es bei einer Beobachtungsstelle in der Regel genügen, wenn man zwei Ziele mit den Entfernungen von etwa 0,1 km (für Nebel) und 3—5 km (für Dunst) hat; durch eine größere Anzahl von Zielen in verschiedener Entfernung läßt sich die Genauigkeit erhöhen. Die Ziele liegen zweckmäßig nach Norden. Für ihre Auswahl ist zu berücksichtigen, daß die Dunst- und Nebelverhältnisse auf der

Strecke normal sein müssen. Findet auf der Strecke zum Ziel Dunst- oder Nebelbildung statt (Eisenbahn, Fabrik, Stadt, Wasserflächen, nasse Wiesen), so ist das Ziel ungeeignet. Auch darf die Strecke nicht ungleichmäßig beleuchtet sein (bei teilweiser Bewölkung). Zur Messung benutzt man das Ziel, das am weitesten entfernt und noch erkennbar ist; dann wird die Meßgenauigkeit am größten.

Wenn Fehlsichtigkeit des Auges mit Brille oder Fernglasokular so korrigiert wird, daß man das Ziel deutlich sieht, so ist die Einstellung des Sichtmessers unabhängig vom Wechsel der Versuchsperson.

Bei Sonnenschein muß man durch Beschattung (nötigenfalls mit der freien Hand) verhindern, daß die Filter von den Sonnenstrahlen getroffen werden, da sich sonst ihr Trübungsgrad wesentlich erhöht.

Stufen-Sichtmesser.

Man hält das Instrument mit der Maske vor das Gesicht, bringt das Ziel bei Einstellung der Filterzahl 0 in die Mitte des Gesichtsfeldes und dreht mit der freien Hand zunächst die größere Scheibe bis zum Verschwinden des Ziels. Dann geht man wieder um eine geradzahlige Filterstufe herunter und schaltet zur feineren Einstellung das Filter 1 auf der kleinen Scheibe vor. Je nachdem, ob das Ziel dann noch erkennbar ist oder nicht, hat man als Ergebnis der Messung die nächsthöhere gerade Zahl oder die eingestellte gerade Zahl plus 1 als Filterzahl zu nehmen, wobei man noch auf Zehntel interpolieren kann.

Blenden-Sichtmesser.

Je kleiner die Irisblende eingestellt wird und je länger das Rohr ist, desto geringer die Trübung des Mattglases. Man richtet das Instrument mit der Mattscheibe am Auge auf das Ziel, schließt das andere Auge und stellt die Irisblende so klein, daß das Ziel deutlich sichtbar ist. Sodann vergrößert man die Blende, bis das Ziel gerade eben verschwindet. Die Skala der Irisblende ergibt dann für die verwendete Rohrlänge den Trübungsgrad des Mattglases.

Die kurze Rohrlänge (mit der k-Skala) wird für die stärkeren, die lange Rohrlänge (mit der l-Skala) für die schwächeren Filtertrübungsgrade verwendet.

Beim Blenden-Sichtmesser ist die Helligkeit und die Gesichtsfeldgröße für die niedrigen Filtergrade infolge der kleineren Blende naturgemäß geringer als für die höheren Filtergrade. Jedoch treten dadurch für die mittleren und stärkeren Filtertrübungen keine Schwierigkeiten beim praktischen Gebrauch auf. Bei den kleinsten Filtergraden, die man aber selten braucht, reicht allerdings die Helligkeit und die Gesichtsfeldgröße für zuverlässige Messungen nicht mehr aus.

Keil-Sichtmesser.

Man stellt die Skala des Instruments auf 0 und richtet es mit der Okularmuschel am Auge aufs Ziel, während das andere Auge mit der Hand, die den Handgriff hält, abgedeckt wird. Dann dreht man die Keilplatte, bis das Ziel gerade eben verschwindet, und liest den Filtertrübungsgrad an der Skala ab.

6. Theorie und Berechnung der Sichtmessung.

Man versteht unter dem Begriff „Sicht“ (oder „Sichtigkeit“) die Erkennbarkeit mehr oder weniger entfernter Objekte. In der Güte der Sicht kommt zum Ausdruck die durch mehrere verschiedenartige physikalische und physiologisch-optische Wirkungen bedingte optische „Trübung der Luft“. Je geringer die Lufttrübung, desto besser die Sicht.

Es sei:

l die Entfernung des Ziels in Kilometern (km); für nautische Zwecke wird die Seemeile (Sm) als Einheit der Zielentfernung bevorzugt;

a der optische Trübungsgrad des auf Verschwinden des Ziels in der Entfernung l eingestellten Filters („Filterzahl"),

$a_m = 14{,}3$ der Wert von a für beste Sicht, unabhängig von l, eine durch den willkürlich gewählten Trübungsgrad des Einheitsfilters gegebene Apparatkonstante.

Dann ist:

$(a_m - a)$ der optische Trübungsgrad der Luft für die Entfernung l, ausgedrückt in Graden der Filterskala.

Nimmt man an, daß sich die Lufttrübung proportional der Luftstrecke ändert, so ist:

$\frac{a_m - a}{l}$ der optische Trübungsgrad der Luft für $l = 1$.

Die Sicht S wird definiert als der reziproke Wert des optischen Trübungsgrades der Luft für $l = 1$:

$$S = \frac{l}{a_m - a} = \frac{l}{14{,}3 - a}.$$

Da a und a_m dimensionslose Zahlen sind, hat S die Dimension einer Länge. „Sicht" ist diejenige Entfernung in km oder Sm, auf welcher der optische Trübungsgrad der Luft gleich dem optischen Trübungsgrad 1 der Filterskala des Sichtmessers ist.

Zur Vermeidung von Rechnungen benutzt man zweckmäßig eine Fluchtlinientafel, wie sie der ersten Abhandlung des Literaturverzeichnisses beigegeben ist, aus der zu den zusammengehörigen beobachteten Werten von l und a sofort der Sichtwert S entnommen werden kann. Oder man stellt sich für den Gebrauch einer festen Beobachtungsstelle mit bestimmten Zielen eine Tabelle her. Auch die Einzelberechnung von S mit dem Rechenschieber ist nicht umständlich.

Die Trübungsskalen der Blenden- und Keil-Sichtmesser werden vom Verfasser durch Vergleichsmessungen an die Skala eines Normal-Stufen-Sichtmessers angeschlossen. Der Trübungsgrad der einzelnen Filter der Stufen-Sichtmesser wird bei ihrer Herstellung durch Vergleich mit Normalfiltern so bemessen, daß keine merklichen Abweichungen von den ganzzahligen Werten der Filterzahlen auftreten und der Trübungsgrad bei sämtlichen Instrumenten übereinstimmt. Dies wird außerdem für jedes Intrument vom Verfasser geprüft. Ferner ist auch durch das Herstellungsverfahren für sämtliche Sichtmesser die Einhaltung der besonderen Art der Trübung sowie ihre Gleichmäßigkeit und Unveränderlichkeit gewährleistet. Die Filter der einzelnen Trübungsstufen zeigen die gleiche Trübung wie ganzzahlige Sätze von aufeinandergelegten Filtern der kleinsten Trübungsstufe „1"; beispielsweise hat Filter „6" den Trübungsgrad von 6 aufeinander gelegten Filtern „1", oder von 3 aufeinandergelegten Filtern „2".

Nach der vorstehenden Formel für S müßten sich bei unveränderter Sicht für verschiedene Entfernungen l konstante Werte von S ergeben, was aber nur roh durch die Versuche bestätigt wird.

Für genauere Messungen verlangt die Verschiedenheit der Gesetze, nach denen die Trübung der Luft und des Mattglases von der Schichtdicke abhängt, die Anbringung einer Korrektion, so daß die Sicht genauer nach folgender Formel zu berechnen ist:

$$S = \frac{l}{14{,}3 - a} - 0{,}06 \cdot l = l\left(\frac{1}{14{,}3 - a} - 0{,}06\right).$$

Diese Form des Gesetzes mit dem Zahlenwerte 0,06 im Korrektionsglied wurde durch zahlreiche Versuchsreihen bei Dunst und Nebel gefunden und ist für die größtmögliche Genauigkeit ausreichend (Lit. Nr. 4 und 5).

Die Beziehung zwischen S, l und a gilt bei Tage für bedeckten Himmel. Für Sonnenschein ist sie bei Verwendung mehrerer verschieden entfernter Ziele nur dann brauchbar, wenn diese Ziele nahezu in gleicher Richtung liegen, da die Sicht abhängig ist von der Beleuchtungsrichtung (Lit. Nr. 4). Bei Sonnenschein muß man daher zu der Sichtmessung die Richtung, in der die Sicht gemessen wird, mit angeben, oder eine entsprechende Reduktion anbringen.

7. Berechnung der Sichtweite aus dem Sichtwert S.

„Sichtweite" im üblichen Sinne ist diejenige Entfernung, in der das Ziel gerade noch erkennbar ist, gemessen in km oder Sm. Soll ein Ziel von der Entfernung der Sichtweite mit dem Sichtmesser zum Verschwinden gebracht werden, so wird man nur das Mattfilter vom Trübungsgrade 1 vorzuschalten haben, also $a = 1$ einstellen. In die Sichtmesserformel ist daher $a = 1$ und für l die Sichtweite L einzusetzen. Man muß hier den Sichtwert S nach der genaueren, zweiten Formel nehmen. Je nachdem man bei den Sichtmessungen für die Zielentfernung l Kilometer oder Seemeilen zugrunde legt, bekommt man auch die Sichtweite in km oder Sm. Es ist also:

$$S = L \cdot \left(\frac{1}{14{,}3 - 1} - 0{,}06\right) = L \cdot 0{,}015.$$

Daraus folgt die Sichtweite:

$$L = \frac{S}{0{,}015} = 66\, S.$$

Hiernach wird bei Nebel, Dunst und klarer Luft aus einer Messung mit dem Sichtmesser an einem näheren, gut sichtbaren Ziel die Sichtweite L berechnet.

Vorausgesetzt ist aber für die Brauchbarkeit dieser Formel, daß zur Bestimmung von S Ziele mit annähernd normaler Größe (0,3 bis $0{,}4^0$) benutzt werden; vgl. Abschnitt 5, Absatz 1. Bei Nebelmessungen auf See kann man als Ziel z. B. einen Ball in geeigneter Entfernung auf Deck seitlich heraus benutzen. Mit dieser Sichtweiteformel sind die Ergebnisse von Sichtmesserbeobachtungen in einfacher Weise in solche Sichtskalen einzureihen, wie sie zur Verschlüsselung telegraphischer Sichtmeldungen gebräuchlich sind oder etwa neu eingeführt werden.

8. Messung der Vertikalsicht.

Die Methode des Sichtmessers ist auch zur Bestimmung der vertikalen Sicht geeignet, vom Boden oder vom Luftfahrzeug aus.

Vom Boden aus benutzt man als Ziel einen Ballon oder ein Flugzeug mit bekannter Entfernung und Höhe, am zweckmäßigsten einen Pilotballon, den man gleichzeitig von einem zweiten Beobachter mit dem Theodoliten verfolgen läßt. Der Sichtmesser kann dabei freihändig gehalten werden; besser ist es aber, ihn vor dem Objektiv eines Theodoliten zu befestigen. Hierbei ist für quantitative Messungen mit der größten erreichbaren Genauigkeit die Zielgröße und der Trübungsgrad der Fernrohroptik zu berücksichtigen; vgl. Abschnitt 5, Absatz 1 und 2, sowie Lit. Nr. 6.

Wird vom bemannten Ballon (Fesselballon) oder Flugzeug aus mit dem Sichtmesser beobachtet, so legt man als Ziel ein genügend großes weißes Tuch mit schwarzer Marke auf dem Boden aus.

Instrumente und Methoden zur Ermittlung nutzbarer Lagerstätten.

Von
C. Heiland in Berlin.

(Vortrag, gehalten in der Sitzung vom 15. April 1925 des Naturwiss. Vereins in Hamburg.)

Die Aufgabe, nutzbare Lagerstätten aufzusuchen und zu erforschen, fiel bisher fast ausschließlich dem praktischen Geologen zu. Teils auf Grund übertags vorhandener Aufschlüsse, teils auf Grund von Bohrungen und Schächten leitete er nach Untersuchung der dort angetroffenen Schichten Schlüsse ab auf das Vorkommen nutzbarer Mineralien. Zu der genannten Arbeitsmethode ist indessen neuerdings eine zweite hinzugetreten, emporgewachsen aus dem Bedürfnis, auch in Gebieten Aufschluß über die Untergrundkonstitution zu erlangen, wo Aufschlüsse fehlen. Sie beruht darauf, daß sich die Erdrinde aus Bestandteilen mit verschiedenen physikalischen Eigenschaften aufbaut, deren mittelbare oder unmittelbare Fernwirkung mit geeigneten Apparaten gemessen werden kann. Demnach hängt die Möglichkeit, ein nutzbares Vorkommen überhaupt mit physikalische Methoden nachzuweisen, davon ab, ob und wieviel seine physikalischen Eigenschaften von denen der Umgebung verschieden sind, um in bestimmter Entfernung noch gemessen werden zu können. Am vorteilhaftesten ist es natürlich, mehrere physikalische Eigenschaften der gesuchten Lagerstätten zu messen. Daraus aber erklärt sich die große Mannigfaltigkeit der bisher bekannten Methoden, über die ich versuchen möchte, im folgenden so weit einen Überblick zu geben, wie es im Rahmen eines Vortrages möglich ist.

Die geophysikalischen Aufschlußverfahren lassen sich zunächst in systematischer Beziehung[1]) in zwei wesensverschiedene Gruppen einteilen. Die eine beruht auf der Ermittlung der Eigenwirkung des betreffenden Schichtkomplexes und umfaßt die Messungen der Schwerkraft, des Magnet-Feldes, der Wärme- und der radioaktiven Wirkung. Bei der zweiten Gruppe dagegen werden die gesuchten Lagerstätten erst durch ihre Reaktion auf künstlich erzeugte Kraftfelder der Beobachtung zugänglich gemacht. Hierher gehören die Messungen ihres Verhaltens bei elastischen und drahtlosen Wellen und elektrischen Strömen.

I.

Was zunächst die zu Gruppe I gehörigen Beobachtungen betrifft, so läßt sich ein Schichtenkomplex dadurch ermitteln, daß die Veränderung gemessen wird, die er auf das normale Schwerefeld ausübt. Zur Ermittlung der relativen Schwerkraft dient heute meistens der Vier-Pendelapparat nach Sterneck (Fig. 1). Er besteht aus 4 Halbsekunden-Pendeln, deren Schwingungsdauer nach dem Koinzidenz-Verfahren gemessen wird. Der Koinzidenzapparat, dessen bewegliche Blende im Takt des Vergleichschronometers schlägt und im Augenblick der Koinzidenz ein vom Pendelspiegel reflektiertes Spaltbild als Blitz mit dem Fadenkreuz des Fernrohres zusammenfallen läßt, ist auf der linken Seite der Fig. 1 zu sehen. Über schweren Massen schwingt das Pendel schneller, die Schwerkraft ist größer. Mit dem genannten Apparat gelingt indes nur die Ermittlung tektonischer Großformen, wie abgetragener und wieder zugeschütteter Gebirgsrümpfe u. dgl., weil trotz der großen Genauigkeit in der Schwingungsmessung — die Schwingungszeit wird auf einige 10 Millionstel Sekunden genau bestimmt — nicht so feine Veränderungen der Schwerkraft wahrgenommen werden können,

[1]) Vgl. die Tabellen S. 434 u. 435.

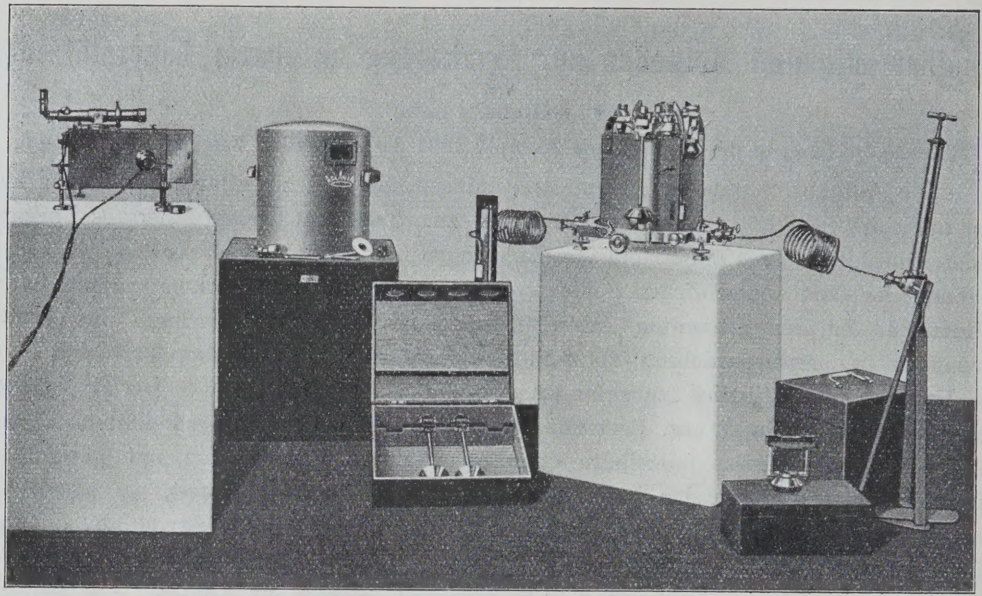


Fig. 1. Vierpendelapparat nach Sterneck.

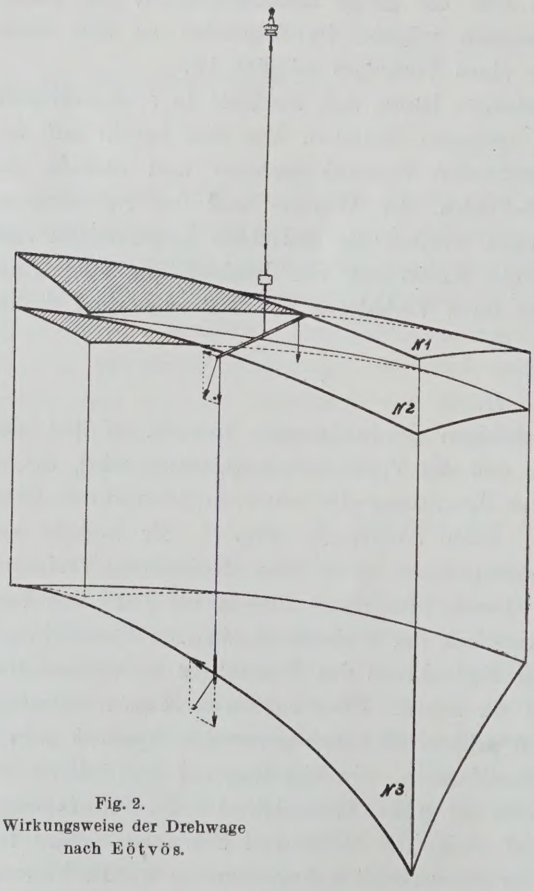


Fig. 2.
Wirkungsweise der Drehwage
nach Eötvös.

wie sie durch lokal begrenzte Lagerstätten hervorgerufen werden. Dasselbe gilt von der Beobachtung von Lotabweichungen durch Ermittlung der astronomischen und geodätischen Breite und Länge. Praktische Bedeutung können aber diese Messungen dadurch erlangen, daß nutzbare Lagerstätten, wie z. B. Steinkohlen, an die mit ihnen nachweisbaren Gebirgsmassive gebunden sind.

Für lokale Einlagerungen dagegen weit empfindlicher ist die Drehwage 2. Form des ungarischen Physikers v. Eötvös. Sie besteht (Fig. 2) aus einem horizontalen Wagebalken, der mittels eines Spiegelgestänges an einem $^{4}/_{100}$ mm dicken Platinfaden aufgehängt und an den Enden durch Gewichte beschwert ist, von denen das eine an einem Messingfaden um 60 cm tiefer hängt. In der Praxis verwendet man zwei solche nebeneinander aufgehängte Wagesysteme, die bezüglich ihrer Hängegewichte um 180° verdreht sind. Da man sich das Verhalten der Schwerkraft im Raume durch Flächen gleichen Potentials derselben dargestellt und je eine Fläche durch das obere und das untere Gewicht des Wagebalkens

gelegt denken kann, so entsteht dann an eine horizontale, den Balken um einen gewissen Betrag unter Tordierung des Aufhängefadens drehende Komponente, wenn diese beiden Niveauflächen und somit auch die auf ihnen senkrechten Schwererichtungen einen Winkel miteinander bilden, wie die Fig. 2 zeigt. Dabei ist ein Winkel von etwa 1 Hunderttausendstel Bogensekunde noch nachweisbar. Da die Niveauflächen um so stärker konvergieren, je schneller sich die Schwerkraft ändert, so gibt diese Drehwage nicht die Schwerkraft absolut, sondern nur deren Änderungsgeschwindigkeit oder Gradienten am Stationsort an. Denkt man sich das Hängegewicht oben an den Wagebalken verlegt, so entsteht ein weiteres Drehmoment, wenn die durch die Balkenenden gelegten Niveauflächen nicht parallel sind. Aus der entsprechenden Balkendrehung lassen sich zwei Größen ableiten, die die Gestalt einer durch den Gehängeschwerpunkt gedachten Niveaufläche beurteilen lassen. Die Theorie einer Doppelwage verlangt, daß die Balkenausschläge in drei verschiedenen Azimuten gemessen werden. Fig. 3 zeigt eine derartige von den Askania-Werken in Berlin-Friedenau hergestellte Doppelwage im Aufriß, die zur automatischen Drehung des Oberbaues in die Meßungsazimute und photographischen Registrierung der Balkenausschläge eingerichtet ist. Das hochempfindliche Wagesystem ist gegen Luftströmungen und Wärmeeinwirkungen durch ein dreifaches Metallgehäuse geschützt. Fig. 4 veranschaulicht das Verhalten der Schwerkrafts-Gradienten über einigen Erscheinungsformen nutzbarer Lagerstätten. Man er-

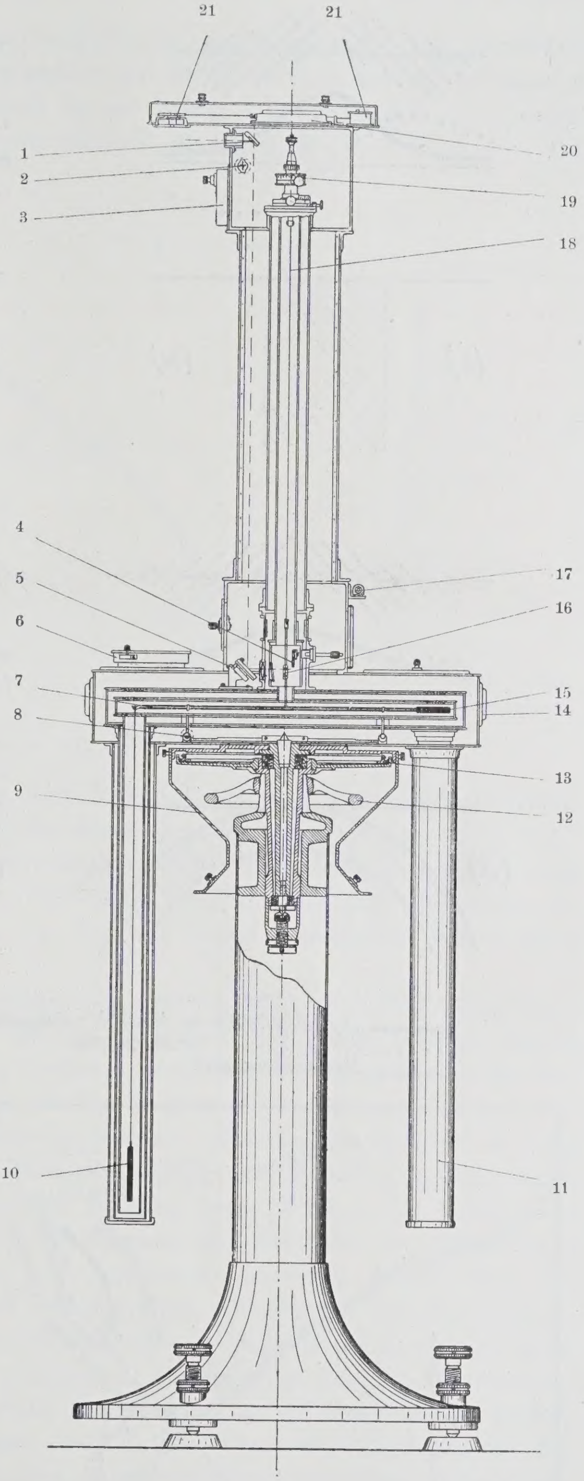


Fig. 3. Drehwage. 1 Vorschaltspiegel, 2 Lampe, 3 Batterie, 4 Fester Spiegel, 5 Bockspiegel, 6 Bussole, 7 Wagebalken, 8 Arretierung, 9 Sonnenschutz, 10 Unterer Massenkörper, 11 Schutzrohr, 12 Buchsenklemmung, 13 Zahnkranz, 14 Handgriff, 15 Oberer Massenkörper, 16 Wagebalkenspiegel, 17 Libelle, 18 Platindraht, 19 Torsionskopf, 20 Kassette, 21 Kassettentriebwerk.

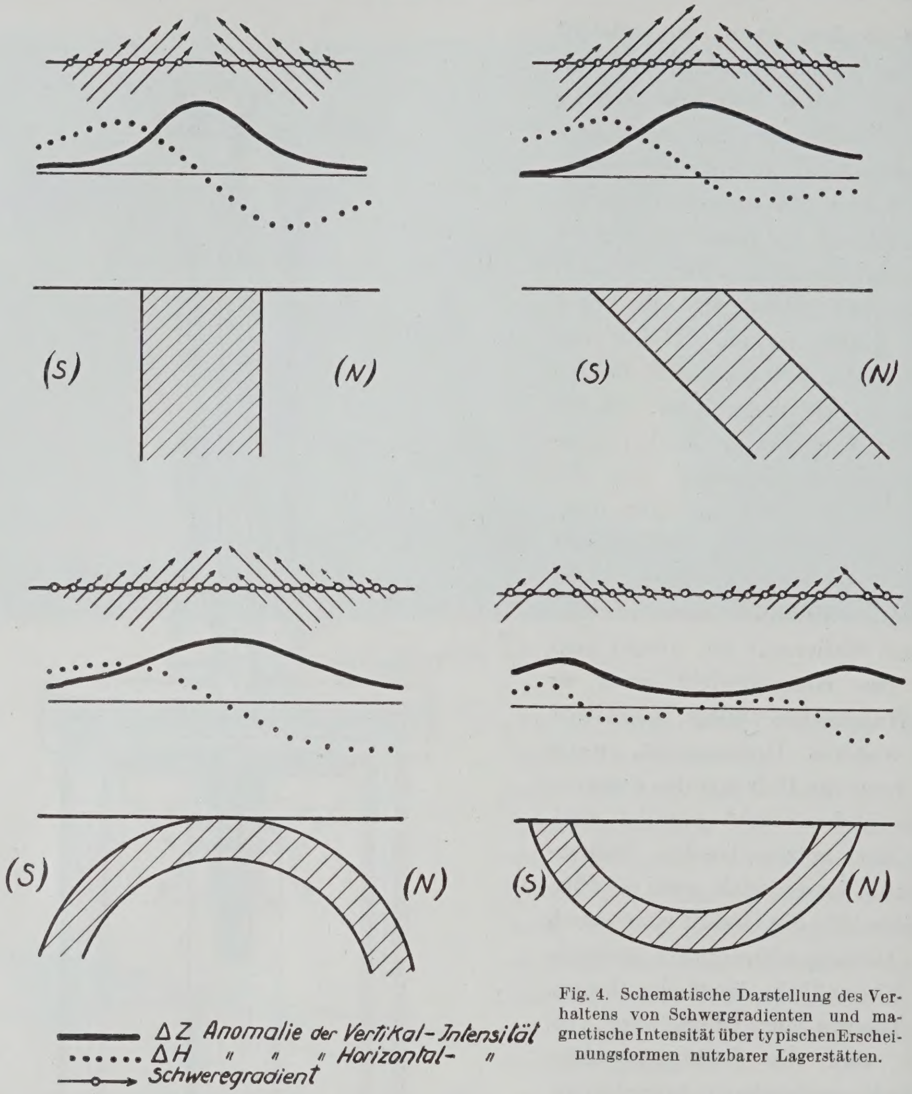


Fig. 4. Schematische Darstellung des Verhaltens von Schwergradienten und magnetische Intensität über typischen Erscheinungsformen nutzbarer Lagerstätten.

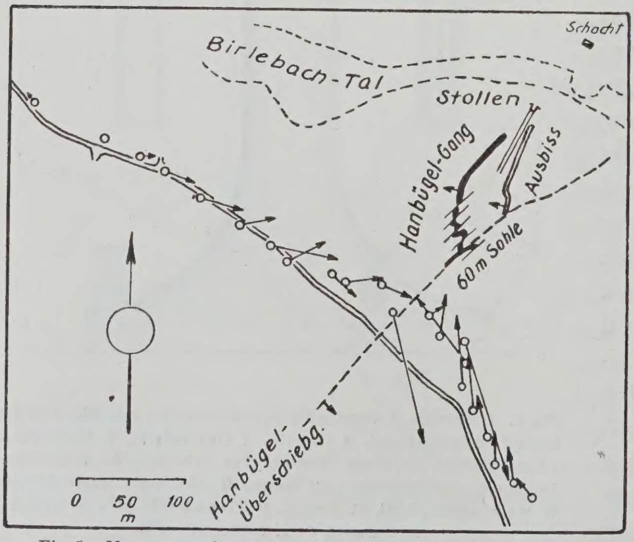


Fig. 5. Messungsergebnisse der „Explosation" im Hanbügelgebiet (Siegerland) nach H. Quiring.

kennt, daß die durch Pfeile dargestellten Schweregradienten stets auf die schwere Masse zuweisen und meistens über den Rändern am größten sind. Ebenso ändert sich die Hauptkrümmungsrichtung einer Niveaufläche in der Nähe der Ränder. Nachweisbar sind mit der Drehwage hauptsächlich Erze, Salzstöcke, fast alle Fälle verdeckter Tektonik, Talprofile, und indirekt durch sein Vorkommen in Antiklinalen und Salzstockrändern Petroleum. Fig. 5 zeigt

Messungsergebnisse über einen Spateisensteingang im Siegerland. Die Gradienten westl. der Überschiebung wachsen langsamer als östlich davon[1]) und deuten somit in Übereinstimmung mit dem geol. Befund wie mit Skizze 2 unserer Fig. 4 ein Einfallen des Ganges nach Westen an. Fig. 6 veranschaulicht Messungen des Verf. über einen Tal-

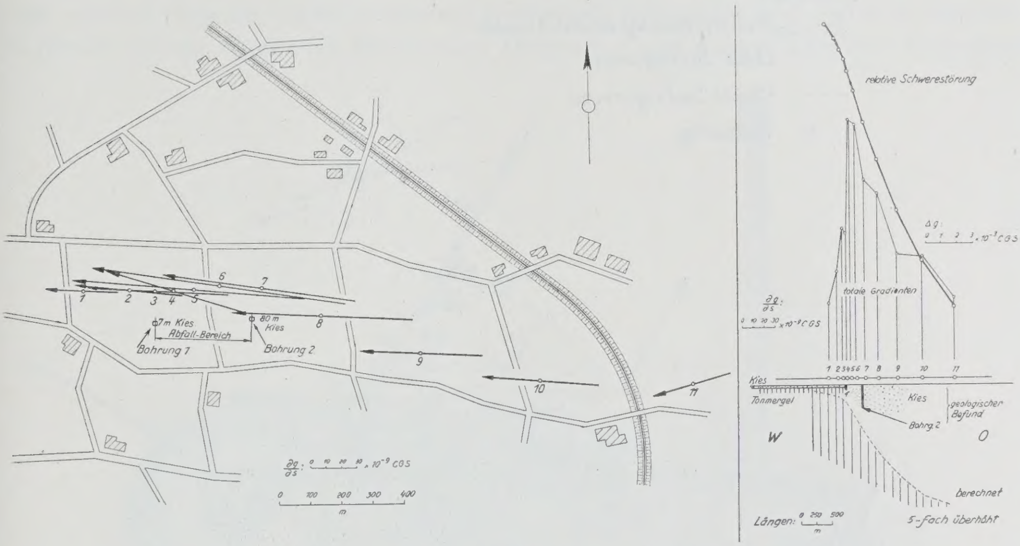


Fig. 6. Messungsergebnisse des Verf. über einen diluvialen Steinrand.

profil. Das Maximum der Gradienten liegt hier dort, wo der Hang im Untergrunde am stärksten abfällt. In Fig. 7 sind die Messungen der „Exploration — G. m. b. H." über dem Salzhorst von Oldau-Hambühren dargestellt. Die Gradienten weisen vom Salzhorst hinweg und erlauben durch Verbindung ihrer Maxima eine wesentliche genauere Festlegung der Horstflanken, als dies auf Grund geologischer Vermutungen möglich war.

Weiterhin kann man nun auch nutzbare Lagerstätten durch die Veränderungen nachweisen, die sie auf den normalen Verlauf des erdmagnetischen Feldes ausüben. Dieses ist nach Größe und Richtung eindeutig bestimmt durch Größe und Richtung der Gesamt- oder Totalintensität. Durch Ermittlung von Richtung und Schwingungsdauer einer Inklinationsnadel würde man sie bestimmen können. Man zerlegt sie meist in zwei Komponenten, die Horizontal- und die Vertikalintensität. Die Richtung der Horizontalintensität bildet mit dem astronomischen Meridian einen Winkel, die Deklination. Als praktisch hat sich zur vollständigen Bestimmung des Erdfeldes die Beobachtung der Deklination, Horizontalintensität und Inklination erwiesen. Hierzu dient der magnetische Reisetheodolit (Fig. 8) mit Deklinatorium, Ablenkungs- und Schwingungsvorrichtung und Inklinatorium. Zur Ermittlung nutzbarer Lagerstätten ist aber meistens die Kenntnis des Gesamtfeldes nicht erforderlich; man begnügt sich mit der Messung der Horizontal- und der Vertikalintensität. Zur Messung dieser Komponenten genügt für geringere Ansprüche an Genauigkeit das Thalén-Tibergsche Magnetometer, das die Horizontal-Intensität nach dem auch beim Reisetheodoliten verwendeten Ablenkungsprinzip und die Vertikalintensität durch Neigungsänderung einer um eine horizontale Achse drehbaren wagerechten Magnetnadel zu messen gestattet. Für genauere Messungen sind dagegen neuerdings fast ausschließlich in Gebrauch die Schmidtschen

[1]) Mit Ausnahme des Gradienten 33.

Lokalvariometer der Askania-Werke in Berlin-Friedenau. Ein Lokalvariometer zur Messung der Vertikalintensität besteht, wie Fig. 9 zeigt, aus einem horizontalen Magnet-

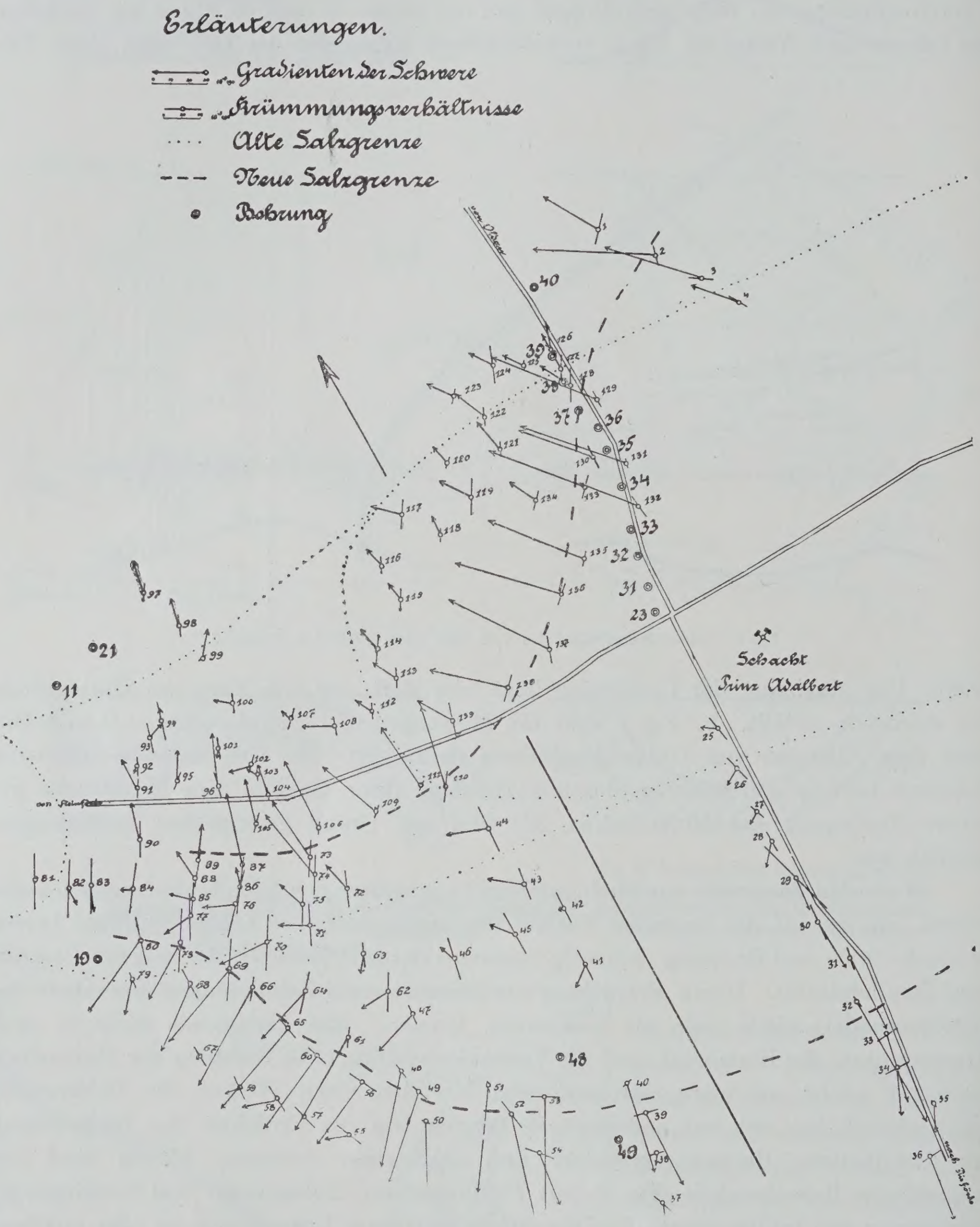


Fig. 7. Messungsergebnisse der „Exploration" über dem Salzhorst von Oldam-Hambühren. (Nach G. Tuchel.)

system, das mittels einer Schneide auf einem Lager balanciert. Die Kippung dieses Systems ist der Änderung der Vertikalintensität proportional und wird mittels eines auf dem System befestigten Spiegels und Autokollimationsvorrichtung abgelesen. Das Lokalvariometer für die Horizontalintensität (Fig. 10) beruht auf dem gleichen Prinzip, nur steht hier das magnetische Wagesystem vertikal und neigt sich im magnetischen Meridian unter dem Einfluß der Horizontalintensität.

Die Inklination läßt sich einfacher und genauer als mit der Inklinationsnadel mit dem Schering-Wildschen Erdinduktor (Fig. 11) bestimmen, bei dem eine rotierende Spule so lange gedreht wird, bis der vom Erdfeld induzierte Strom verschwindet und somit die Spulenachse in Richtung der Kraftlinien, also der Inklination steht. — Da das Erdfeld nicht konstant ist, sondern zeitlichen Schwankungen unterliegt, müssen diese an einem stationären Instrument beobachtet und eliminiert werden. Zu diesem Zwecke dienen bei Deklination, Horizontal- und Vertikalintensität besondere

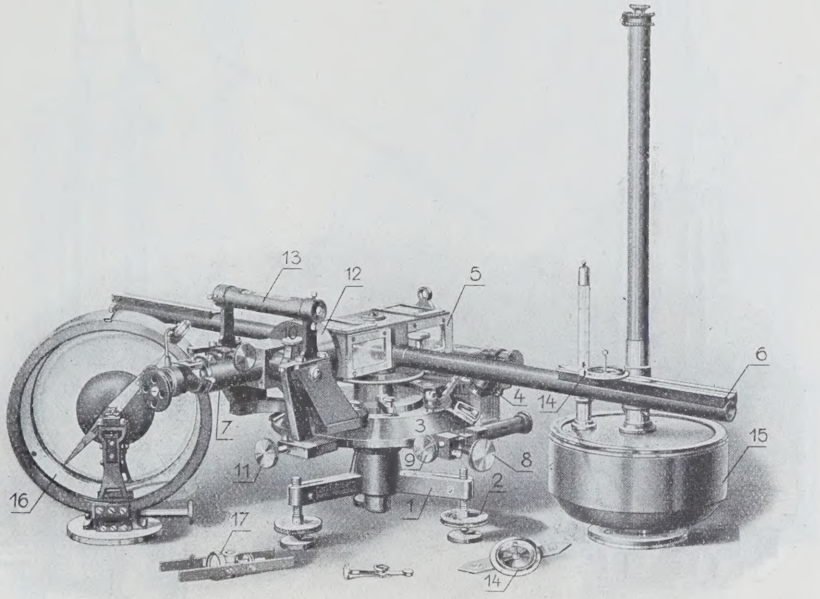


Fig. 8. Magnetischer Reise-Theodolit.
1 Dreifuß, 2 Fußschrauben. 3 Horizontalkreis, 4 Lupe, 5 Magnetgehäuse, 6 Ablenkungsschienen, 7 Beobachtungsfernrohr, 8 Klemmung für Horizontaldrehung, 10 Klemmung der Fernrohrneigung, 11 Feinstellung für Fernrohrneigung, 12 Gegengewicht, 13 Aufsatzniveau, 14 Ablenkungsmagnete, 15 Schwingungskasten, 16 Spiegelinklinatorium, 17 Magnetsystem.

Variometer in Verbindung mit einem Registrierapparat. Für praktische Zwecke ist es bequemer, die Lokalvariometer mit einem Registrieraufsatz zu versehen und mit einem Registrierapparat zu verbinden, wie Fig. 12 zeigt. In Fig. 4 ist dann die Abhängigkeit der Vertikal- und Horizontalintensität von einigen Typen magnetischer Lagerstätten dargestellt. Man sieht, daß die Vertikalintensität in der einfachsten Beziehung zum Untergrunde steht, da sie stets über der Magnetmasse ihr Maximum hat. Deklination, Horizontalintensität und Inklination haben dagegen die größte Störungsamplitude in der Nähe der Ränder. Mit magnetischen Methoden nachweisbar sind hauptsächlich magnetische Lagerstätten, also insbesondere Magnetit, Magnetkies, dann Hämatit und, schwach wirksam, Limonit. Durch ihre unmagnetische Wirkung kann man Salzhorste ermitteln. Indirekt gelingt der Nachweis von Erdöl, wenn es an Salzhorstflanken oder magmatische Intrusionen geknüpft ist. Fig. 13 zeigt vorläufige Ergebnisse meiner magnetischen Messungen über den Magnetitlagern von Berggießhübel. Östlich des Zwieseler Stollens hörte das Lager plötzlich im Streichen auf und war auch durch einen südlich vorgetriebenen Querschlag nicht zu fassen. Die Kammlinie der Vertikalisanomalen zeigen aber einwandfrei, daß das Lager nach Norden verworfen ist, der

Querschlag also in dieser Richtung vorgetrieben werden mußte[1]. Fig. 14 gibt eine profilmäßige Darstellung der eben genannten Verhältnisse. Über dem Ausbiß des Lagers ist H Null und Z ein Maximum. Die Störungsvektoren stellen Tangenten an

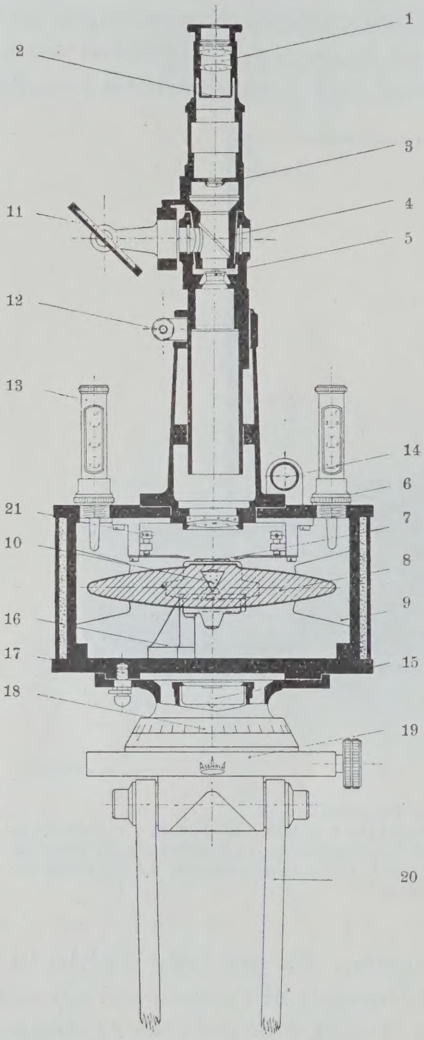


Fig. 9. Vertikal-Feldwage nach Ad. Schmidt. 1 Okular, 2 Diaphragma, 3 Umkehrlinse, 4 Planparallelplatte, 5 Strichplatte, 6 Objektiv, 7 Spiegel, 8 Magnet, 9 Dämpfer, 10 Schneide, 11 Beleuchtungsspiegel, 12 Trieb, 13 Thermometer, 14 Libelle, 15 Dosenlibelle, 16 Lagerbock, 17 Einsatzzapfen, 18 Positionskreis, 19 Stativkopf, 20 Stativ, 21 Transportsicherung.

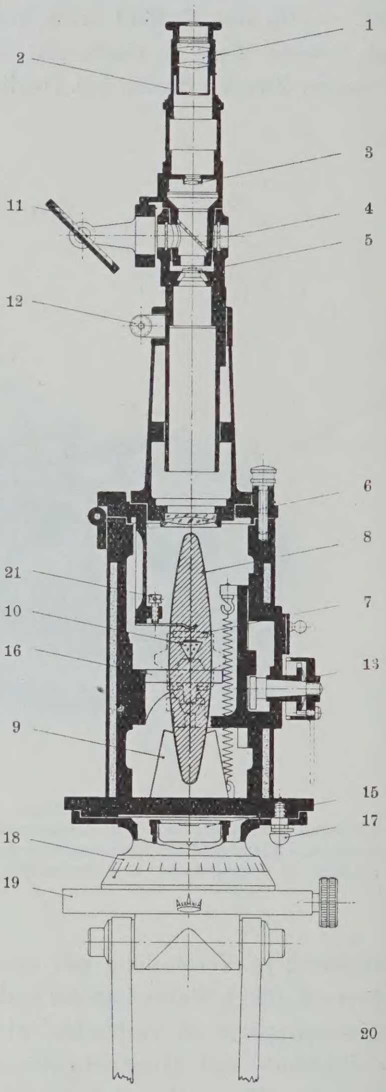


Fig. 10. Horizontal-Feldwage nach Ad. Schmidt. Bedeutung der Zahlen wie bei Fig. 9. 13 Arretierung.

die vom Lager ausgehenden Kraftlinien dar. In Fig. 15 sind die Messungsergebnisse von F. Schuh über mecklenburgischen Salzlagerstätten dargestellt, die ein Minimum der magnetischen Vertikalintensität über den Salzhorsten und besonders deren Gipshüten ergaben. Dasselbe ergab sich aus meinen Messungen bei Segeberg und Lüneburg. (Fig. 16.)

Der Nachweis von Lagerstätten durch ihre Wärmewirkung bleibt beschränkt auf bereits vorhandene Aufschlüsse, besonders Bohrungen. Durch systematische Messung

[1]) Tatsächlich wurde dort auf Grund dieser Messungen das Lager inzwischen angefahren.

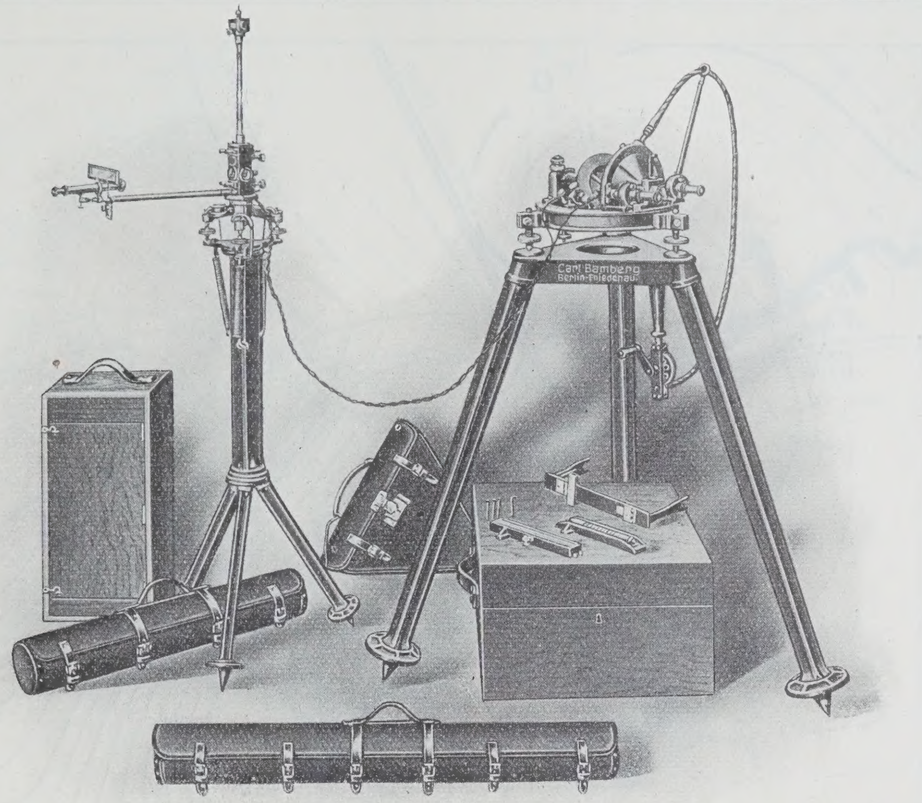


Fig. 11. Rotationsinklinatorium.

der geothermischen Tiefenstufe mit Maximum- oder Registrier-Erdthermometern kann man häufig die Annäherung von Öl- und Gashorizonten, manchmal auch Braunkohle und Erze feststellen.

Auch die Radioaktivitätsmessungen haben infolge der geringen Reichweite und Durchdringungsfähigkeit der Strahlung nur einen beschränkten Anwendungsbereich. Durch Messung der Radioaktivitätsverteilung an der Erdoberfläche mit Ionisationskammer ohne

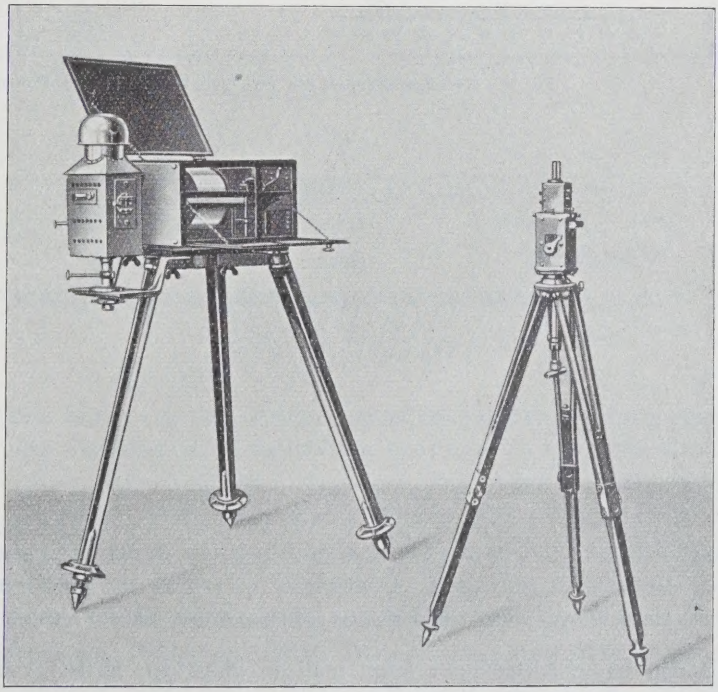


Fig. 12. Horizontal-Feldwage mit Registriervorrichtung.

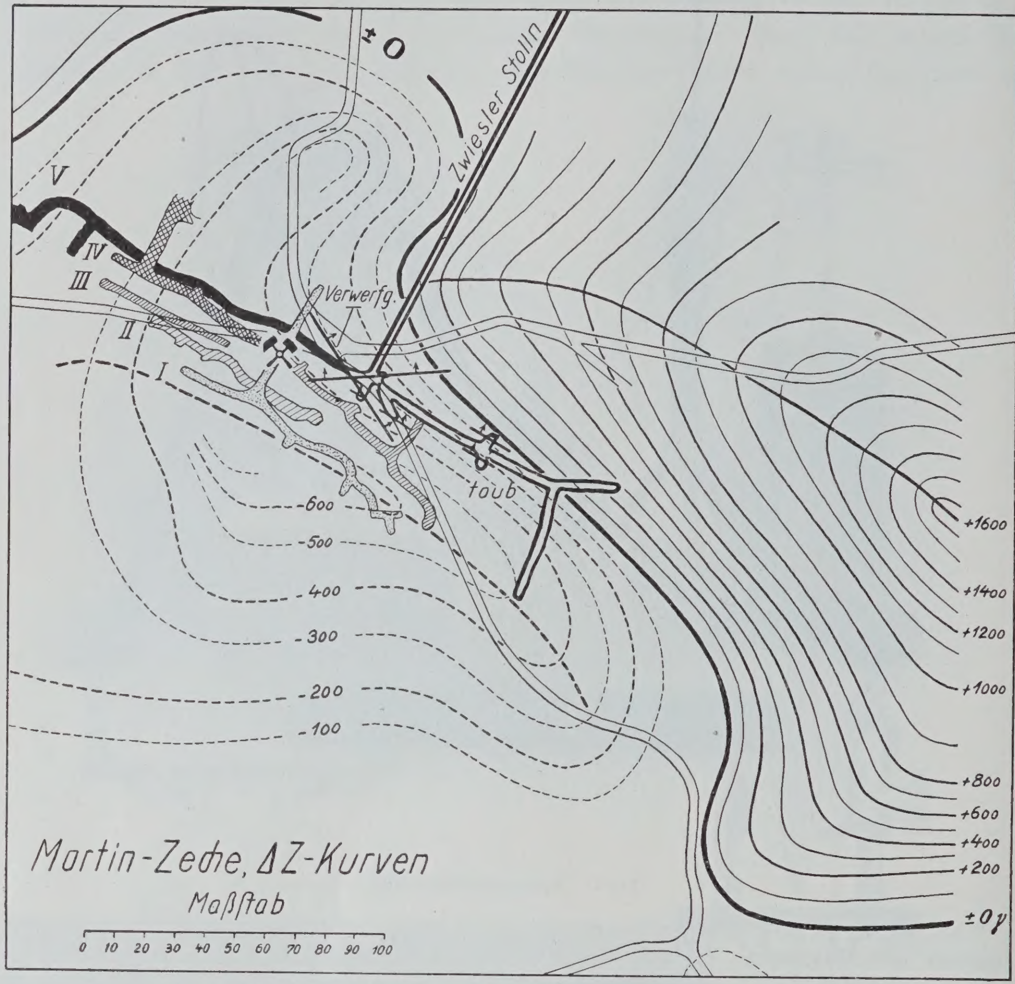


Fig. 13. Messungsergebnisse des Verf. über Magnetitlagern bei Berggießhübel i. Sa.

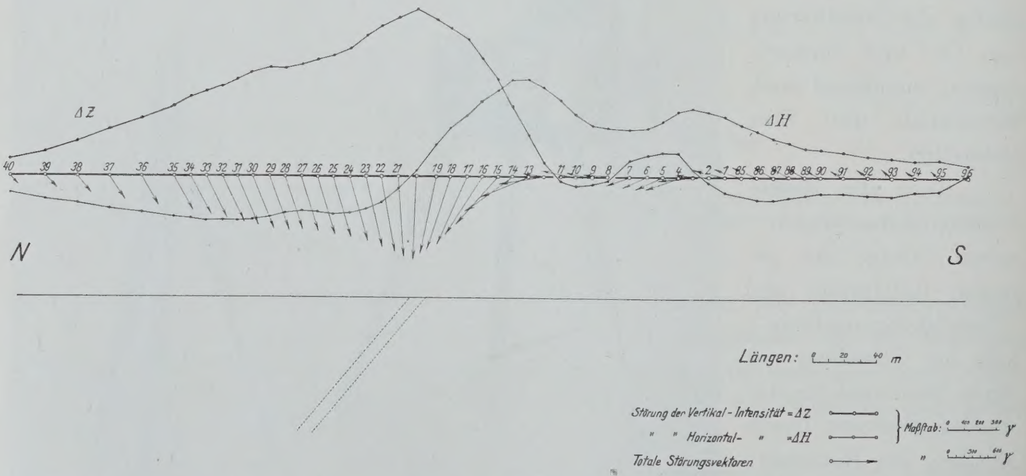


Fig. 14. Horizontal- sowie Vertikalintensität und totale Störungsvektoren auf einer Profillinie bei Berggießhübel i. Sa.

Boden und Elektrometer kann man in günstigen Fällen Verwerfungen, in Bohrungen Ton- und Ölhorizonte auffinden.

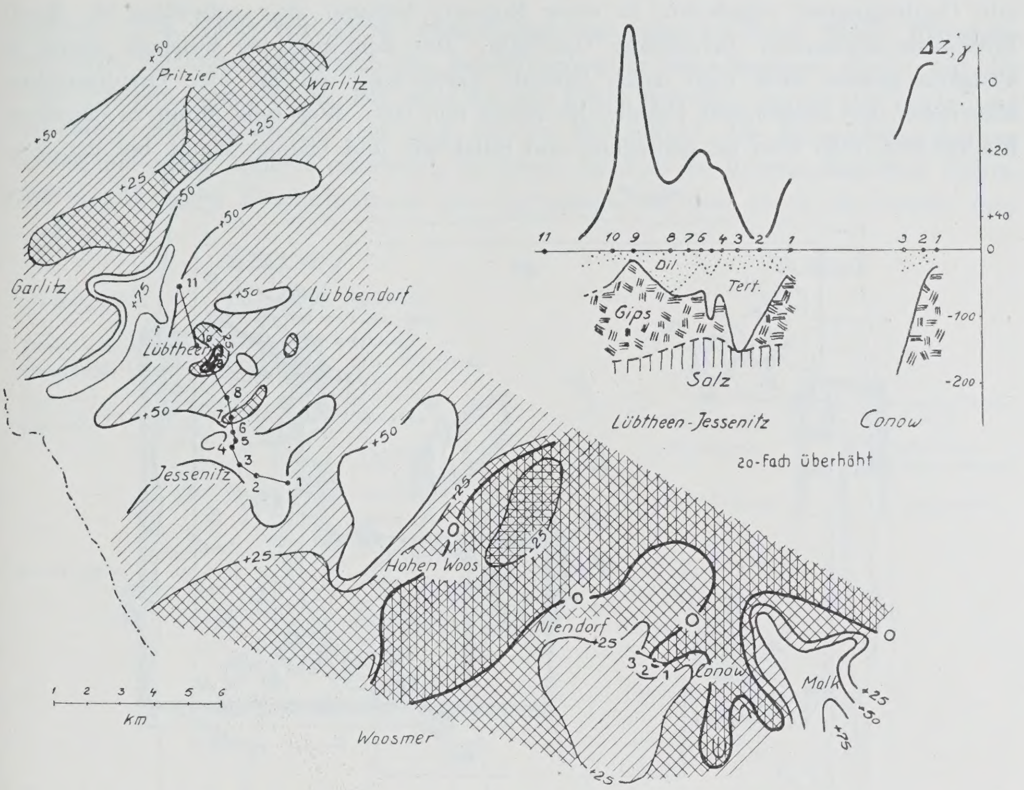


Fig. 15. Messungsergebnisse von F. Schuh über Mecklenburger Salzhorsten.

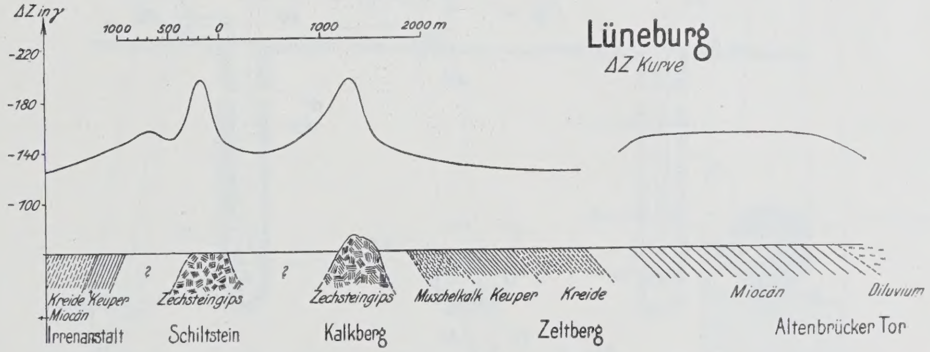


Fig. 16. Messungen des Verf. über einen Salzaufbruch bei Lüneburg.

II.

Indem wir nun zu der zweiten großen Gruppe geophysikalischer Untersuchungsmethoden übergehen, die das Verhalten der Lagerstätten bei künstlich erzeugten Kraftfeldern zum Gegenstand haben, wären zunächst diejenigen Messungen zu behandeln, welche die Beobachtung elastischer Wellen verwenden. Hierbei können entweder akustische Wellen zur Anwendung kommen, wie der Amerikaner Fessenden vorgeschlagen hat, oder aber seismische, wie von Mintrop angegeben. Nach Fig. 17 besteht das Fessendensche Verfahren darin, daß an den Endpunkten des auf Lagerstätten (besondere Erze) zu untersuchenden Feldes vier mit Mikrophonen beschickte, wassergefüllte Bohrungen niedergebracht sind; die Stromschwankungen der ersteren werden

mit Oszillographen registriert. In einer Bohrung befindet sich außerdem ein durch Wechselstromgenerator betriebener Oszillator. Der Zeitpunkt, zu welchem dieser in Tätigkeit gesetzt wird, wird durch leitende Verbindung auf die vier Oszillographen übertragen. Die entstehende Schallwelle nimmt nun ihren Weg teils direkt zu einzelnen Empfängern, teils wird sie gebrochen und reflektiert und bedingt somit bei den ver-

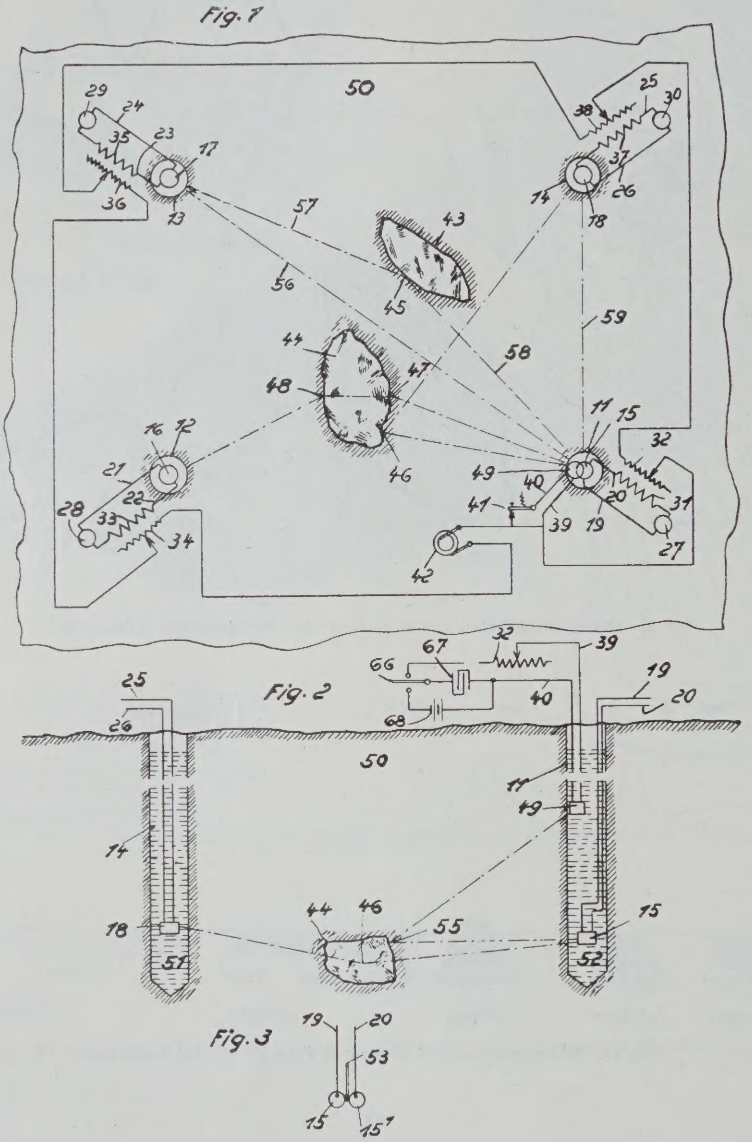


Fig. 17. Akustisches Verfahren von Fessenden. (Nach U. S. A.-Patent 1240328.)

schiedenen Empfängern zu verschiedenen Zeiten Ausschläge. Die Auswertung der Registrierungen ergibt den Weg der Schallstrahlen. — Mehr an die in der Seismologie übliche Arbeitsweise lehnt sich dagegen das Mintropsche Verfahren, dessen Anwendung aber nicht, wie die Fessendensche Methode, von dem Niederbringen von Bohrungen im Untersuchungsgebiet abhängig ist, an. An verschiedenen Punkten des zu untersuchenden Geländes werden durch Sprengungen künstliche Erdbeben erzeugt und durch ein sehr empfindliches Seismometer mit einem Registrierapparat (Fig. 18) aufge-

zeichnet. Das Gerät besteht im wesentlichen aus einer an einer dicken Blattfeder befestigen Bleikugel, die durch die Erschütterung in Schwingungen gerät. Auf der Kugel ist ein langer Hebel mit einer kleinen Feder befestigt, welche sich gegen eine vertikale Achse mit Spiegel legt und dieselbe herumdreht. Die Spiegelschwankungen werden mit einem Apparat registriert, in dessen Innerem ein lichtempfindlicher Papierstreifen mit großer Geschwindigkeit sich fortbewegt, auf dem durch ein Pendel Zeit-

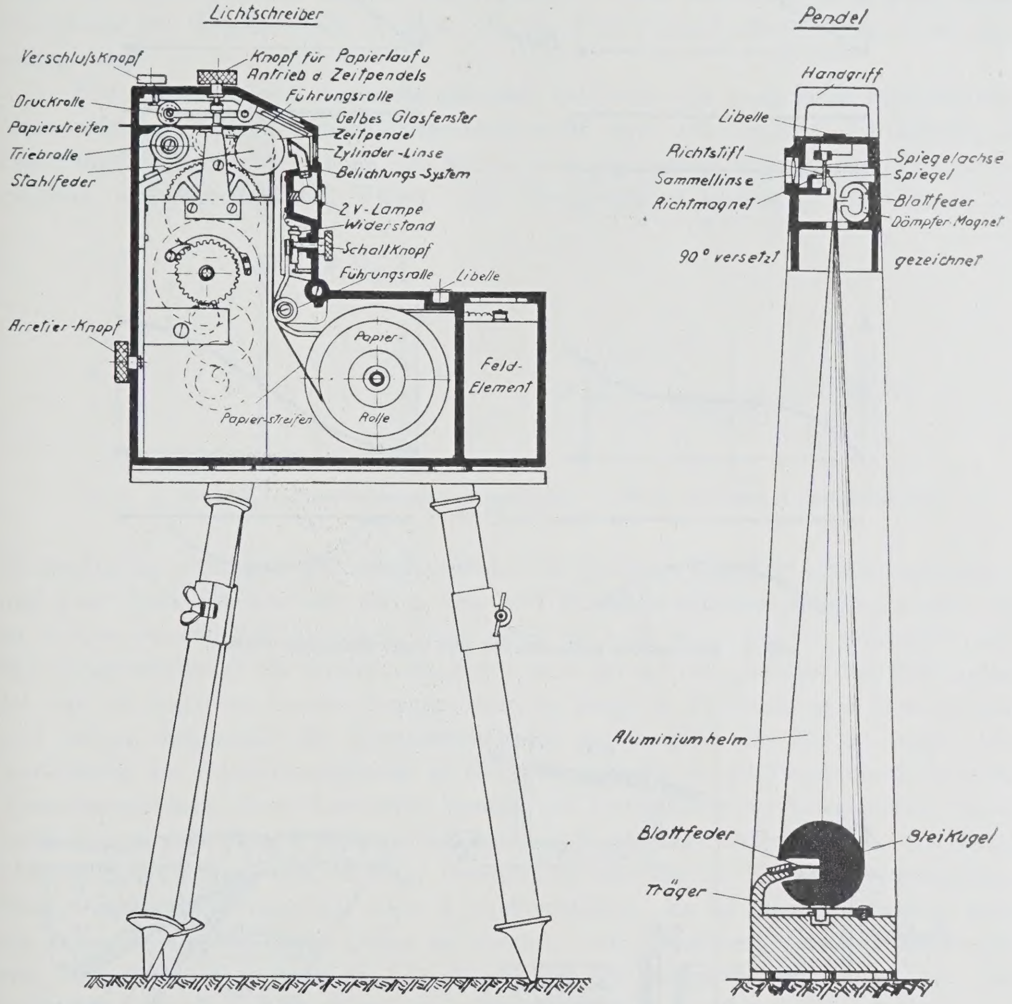


Fig. 18. Seismisches Aufnahmegerät nach L. Mintrop. (Aus D.R.G.M. 670330 mit freundl. Erlaubnis des Herrn Dr. L. Mintrop, Direktor der „Seismos" in Hannover.)

marken registriert werden. Da das Seismometer auch auf die von der Sprengung ausgehenden Schallwellen anspricht, so läßt sich aus den Registrierungen unter Berücksichtigung der Schallgeschwindigkeit auch der Zeitpunkt der Erschütterung und somit die Laufzeit der seismischen Wellen ableiten. Fig. 19 zeigt die Abhängigkeit dieser Laufzeit von der Entfernung des Sprengpunktes bei einigen tektonischen Formen. Da die Erdbebenwellen sich immer den Weg aussuchen, auf dem sie am schnellsten zum Empfänger gelangen, so wird beispielsweise bei der ersten Skizze der Fig. 19 in einer gewissen Entfernung der Fall eintreten, daß diejenigen Wellen, welche den weiteren Weg durch die untere, dichtere Schicht gewählt haben, eher am Empfänger

sind als diejenigen, welche auf dem direkten Weg in der oberen Schicht dorthin gelangt sind. Das äußert sich durch einen Knick in der Laufzeitkurve. Ähnlich ver-

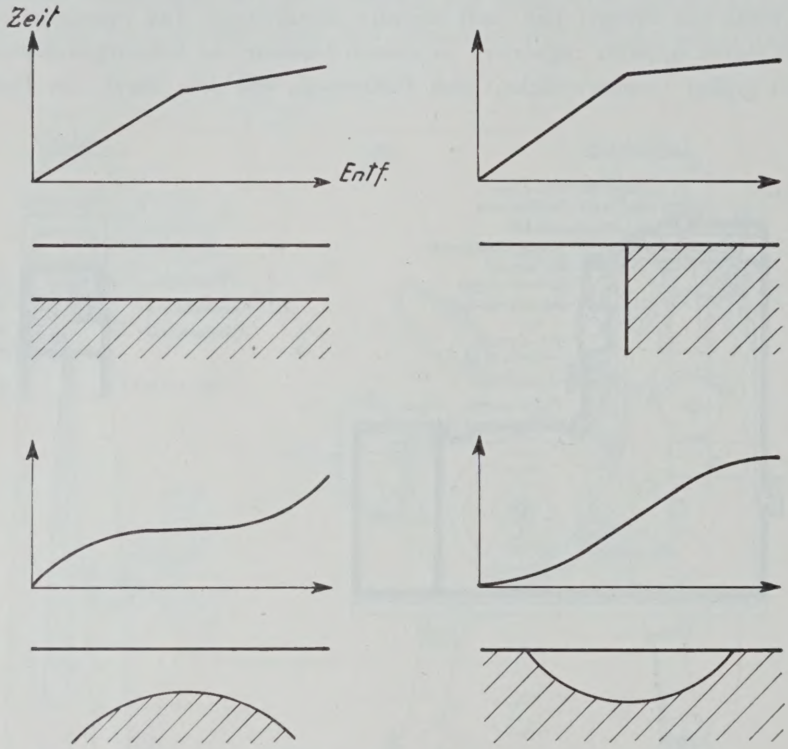
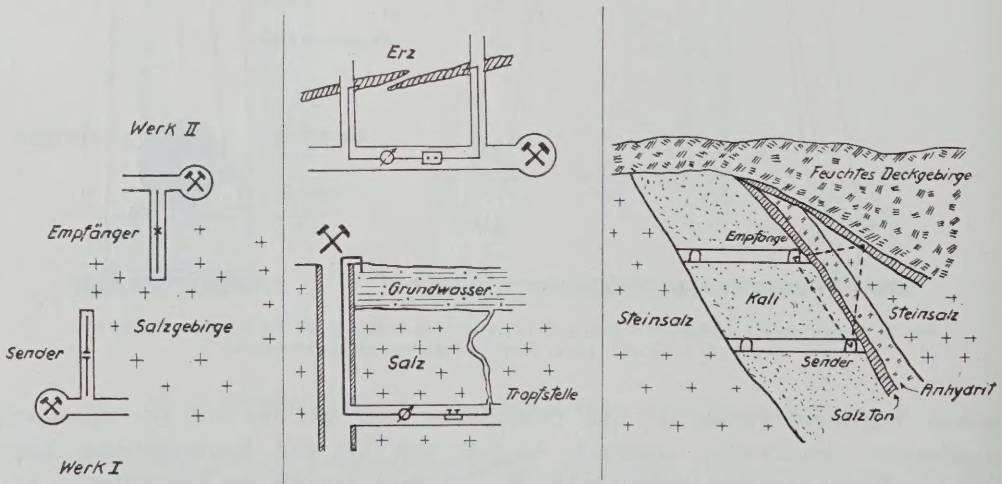


Fig. 19. Schematische Laufzeitkurven über einige tektonische Formen.



a. b. c.

Fig. 20. Untersuchungen über die Ausbreitung von elektrischen Strömen und Wellen nach Ambronn.
a. Absorptions-Verfahren. b. Widerstandsmessung. c. Reflexions-Verfahren.

hält sich Fall 2 mit vertikaler Grenzfläche, während bei Fall 3 und 4 der Wendepunkt der Laufzeitkurve mit der Symmetrieachse der Anti- resp. Synklinale zusammenfällt. Die Mintropsche Methode arbeitet mit großer Schnelligkeit und hat ein sehr

umfassendes Anwendungsgebiet; fast alle in der praktischen Geologie vorkommenden Fälle von Schichtenlageruug lassen sich mit ihr ermitteln.

Eine große Rolle spielen besonders im Erzbergbau diejenigen Verfahren, welche die unterschiedliche Ausbreitung elektrischer Ströme als Messungsgrundlage haben. Die einfachste Anwendungsform elektrischer Methoden ist die Widerstandsmessung. Soll z. B. (Fig. 20b) geprüft werden, ob zwei Erztrümer oder Tropfstellen mit dem Grundwasser Verbindung haben, so sind die fraglichen Punkte einfach in einen elektrischen Stromkreis mit Galvanometer zu legen, das im Falle leitender Verbindung einen Ausschlag zeigt.

Wesentlich größeren Anwendungsbereich hat indes das sogenannte Äquipotentiallinienverfahren. Im Untersuchungsgelände stellt man sich dadurch ein künstliches Spannungsfeld her, daß man an den Enden zwei (am besten linienförmige) Elektroden eingräbt und dieselben mit Gleich- oder Wechselstrom beschickt. Am besten ist

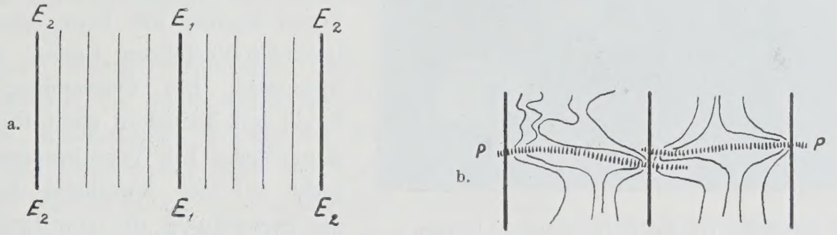


Fig. 21. a. Normales Äquipotentiallinienfeld (*E* Elektroden). b. Durch Pyritlager *P* deformiertes Feld. (Nach Lundberg.)

Wechselstrom, weil dann Polarisationseffekte im feuchten Erdreich vermieden werden, und zwar wird meistens ein Strom von 500 Perioden und von einigen hundert bis zu einigen tausend Volt verwandt. Man erhält so z. B. die in Fig. 21 gekennzeichnete Spannungsverteilung; die Äquipotentiallinien sind gerade und parallel den Elektroden. Ist nun ein Leiter im Untersuchungsgelände, so saugt er die Stromlinien in sich hinein und drängt demgemäß die Äquipotentiallinien auseinander, wie Fig. 21 zeigt. Die Aufsuchung der Äquipotentiallinien im Gelände geschieht in der Regel durch folgende Versuchsanordnung. Zwei Suchsonden werden bei Verwendung von Wechselstrom durch ein Telephon, evtl. unter Zwischenschaltung eines Verstärkers verbunden; die eine Sonde bleibt fest, die andere wird so lange versetzt, bis der Ton im Telephon verschwindet; beide Punkte liegen dann auf einer Äquipotentiallinie. Es ist aber zweckmäßig, auch die Potentialdifferenz dieser Linien zu kennen. Zur Ermittlung derselben stellt man sich über einen Widerstand an Sekundärsonden ein geeignetes Spannungsgefälle her und geht von dem Widerstand über ein Telephon zu einer Suchsonde ab. Aus der Stellung der Sondenableitung auf dem Widerstand beim Verschwinden des Tones läßt sich der Potentialunterschied der Suchsonde gegen die beiden anderen ableiten. Am vorteilhaftesten aber ermittelt man Äquipotentiallinien mit gleichem Potentialunterschied. Zu diesem Zwecke hat man auf der Meßbrücke die Widerstände beiderseits der Suchsondenableitung gleichzumachen; nachdem so Punkte gleichen Potentialunterschiedes gefunden sind, werden die von ihnen ausgehenden Linien mit zwei Suchsonden und Telephon weiter verfolgt. Aus der Verteilung des Potentials läßt sich auch der Potentialgradient ableiten und als Vielfaches des über normaler Schichtenfolge beobachteten Gradienten ausdrücken, wobei man die Punkte gleicher Vielfache durch Isanomalen verbindet. Der Potentialgradient über einem Leiter ist Null, über den Rändern ein Maximum. — Bei einer anderen Ausbildung des elektrischen Verfahrens

wird der von dem im Untersuchungsgebiet erzeugten Wechselfeld in einer drehbaren Spule (Fig. 22) induzierte Strom mit einem Telephon und Verstärker (Verfahren Gella) oder Voltmeter mit vorgeschaltetem Gleichrichter (Detektor oder Audionröhre, Verfahren Lundberg) gemessen, wobei durch Drehen der Spule das Strom- oder Tonmaximum (resp. Minimum) aufgesucht wird. Die Intensität des induzierten Stromes ist meist über der größten Erzanhäufung ein Maximum. Verbindet man zwei Spulen durch ein Telephon, so erhält man durch Versetzen der Suchspule bis zum Verschwinden des Tones ähnlich wie beim Äquipotentiallinien-Verfahren Linien gleicher Intensität. Bei Verwendung einer Spule mit Telephon steht ihre Windungsfläche bei Tonminimum senkrecht auf der jeweiligen Richtung der Stromlinien, die von Leitern an-

Fig. 22. Aufsuchung von Äquipotentiallinien im Gelände.

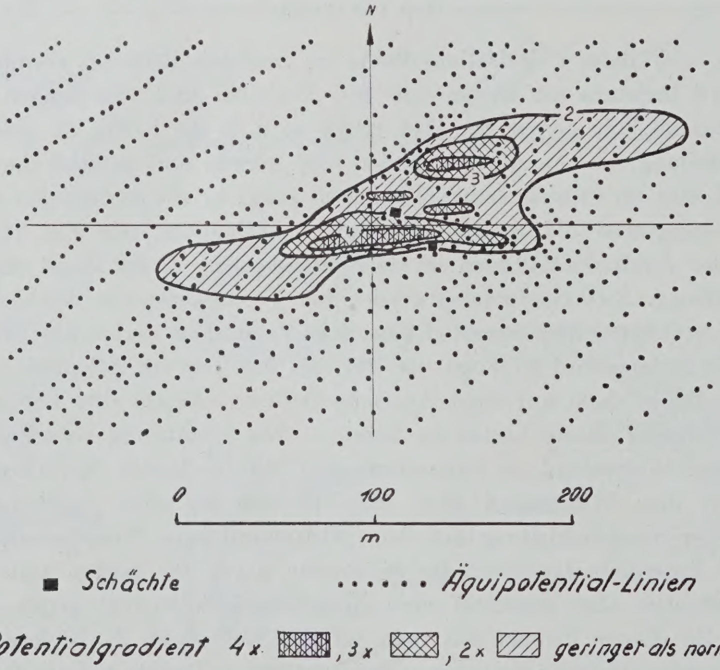


Fig. 23. Äquipotentiallinien und Gradienten-Isanomalen auf dem Bjurfors-Erzfeld. (Nach Lundberg.)

gesaugt werden. Mit der elektrischen Methode lassen sich nachweisen: Alle glänzenden Erze und Kohle als gute Leiter, häufig auch als Isolatoren Erdöl, Salz und Braunkohle. Da Sedimente in der Richtung der Schichtung besser leiten, als senkrecht dazu, lassen sich häufig tektonische Fragen auf diese Weise klären. Beim Schachtbau findet das Verfahren manchmal Anwendung zur Untersuchung von Zementierungen und Ge-

frierkränzen. Die Fig. 23 und 24 zeigen Messungsergebnisse auf dem Bjurfors-Erzfeld im nördlichen Schweden.

Die Erzeugung eines künstlichen Spannungsfeldes kann in praktisch freilich wenig vorkommenden Fällen entbehrlich werden, wenn in einem Gebiete der natürliche Erdstrom stark genug ist, um in gleicher Weise wie beim Äquipotentiallinienverfahren mit unpolarisierbaren Sekundärsonden und Potentiometer festgestellt zu werden. Auf Verwerfungen findet häufig eine Verstärkung des Erdstromes statt. — Manche Erzlager, vornehmlich sulfidische Erze wirken, besonders wenn sie in einzelnen Partien verschieden zusammengesetzt sind, oder in Verbindung mit Elektrolyten verschiedener Konzentration oder aber zwei verschieden chemisch aktiven Lösungen stehen, als galvanisches Element. Durch Ermittlung der Stromverteilung nach dem Äquipotentiallinienverfahren können sie lokalisiert werden.

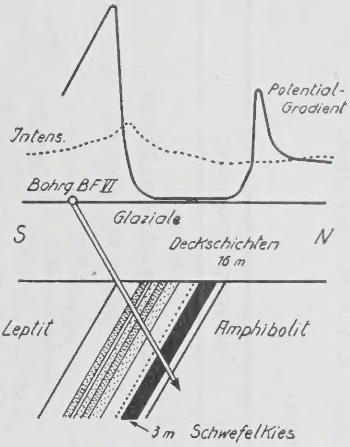


Fig. 24. Potential-Gradient und Induktionsintensität über einen Gang des Bjurfors-Erzfeldes. (Nach Lundberg.)

Zum Schluß wären noch diejenigen Verfahren zu behandeln, bei denen der Einfluß von Lagerstätten auf die Ausbreitung elektrischer Wellen bestimmt wird. Zum Unterschied gegen die vorgenannten elektrischen Methoden ist ihre erfolgreiche Anwendung nur bei Fortpflanzung der Wellen in Nichtleitern möglich; sie gehorchen denselben Gesetzen wie die Lichtstrahlen, also Absorption, Brechung, Reflektion und Interferenz, wobei die Wurzel aus der Dielektrizitätskonstante dem Brechungsindex und die Leiter undurchsichtigen Körpern entsprechen. Die einfachste Anwendung ist das Absorptionsverfahren (Fig. 20a). Um z. B. in Salzbergwerken die Beschaffenheit des

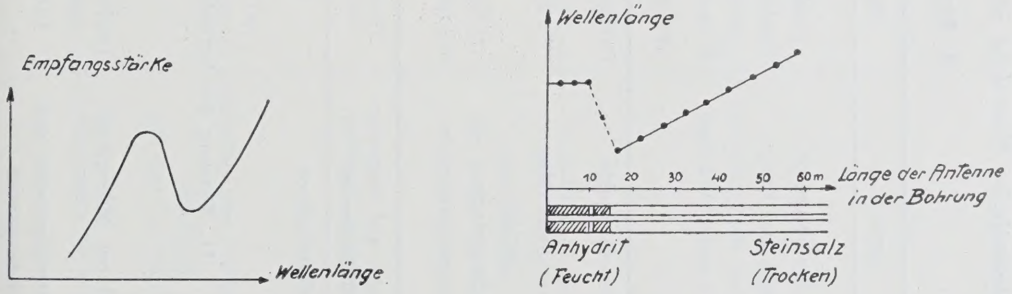


Fig. 25. Untersuchungsverfahren mit drahtlosen Wellen. a. Interferenz-Verfahren. b. Kapazitäts-Verfahren. (Nach Leimbach bzw. Ambronn.)

zwischen zwei Strecken befindlichen Gebirges zu ermitteln, stellt man in diesen eine Sende- und Empfangseinrichtung auf und kann aus der Beschaffenheit des Empfanges darauf schließen, ob zwischen Sender und Empfänger leitende Partien, also besonders Laugenansammlungen vorhanden sind oder nicht. Dem gleichen Zwecke dient das Reflektionsverfahren (Fig. 20c), bei dem aus dem Weg der Strahlen zwischen Sender und Empfänger, besonders bei Verwendung von Rahmenantennen, auf die Lage wasserführender Partien geschlossen werden kann. Bei Veränderung der Wellenlänge kann man zwischen direkt gesandtem und reflektiertem Strahl Interferenzen erzeugen (Interferenzverfahren, Fig. 25 links), wobei sich bei einer bestimmten Wellen-

Systematische Übersicht über die geophysikalischen Aufschlußverfahren.

I. Messung von Eigenwirkungen.

Und zwar:	Apparate	Gegenstand der Messung	Äußerung der Störung	Anwendungen
a) des Schwerefeldes:				
1. Pendelmessungen	4-Pendelapparat	Relative Schwerkraft	g = Max. über schweren Massen	Tekton. Großformen
2. Beobachtungen der Lotabweichung	Länge und Breite	Geodätische und astronomische Universalinstrumente	Lotattraktion von schweren Massen	Tekton. Großformen
3. Drehwagenmessungen	Eötvössche Drehwage	Schweregradienten und Krümmungsgrößen	Gradienten-Max., Änderung der Hauptkrümmungsrichtung über den Rändern	Erze, Salzstöcke, Braunkohle, verd. Tektonik, Talprofile, indirekt: Erdöl
b) des Magnetfeldes:	Reisetheodolite	Deklination, Horizontalintensität, Inklination	D, H und J: Max. und Min. über den Rändern	Magnetit, Magnetkies, Hämatit, Limonit, Salzhorste, indirekt: Erdöl
	Lokalvariometer (Magnetometer)	Vertikalintensität, Horizontalintensität	$Z \frac{\text{Max.}}{\text{Min}}$ über $\frac{\text{Süd}}{\text{Nord}}$ magn. Masse	Magnetit, Magnetkies, Hämatit, Limonit, Salzhorste, indirekt: Erdöl
	Induktoren	Inklination (auch H und Z)		
	Variationsinstrumente	Deklination, Horizontalintensität, Vertikalintensität	—	Zur Eliminierung der Schwankungen
c) der Wärmewirkung:	Maximum- und Registrierthermometer	Geothermische Tiefenstufe	Verkleinerung der $G. T.$ am Wärmeherd	Erdöl, Gas, Braunkohle, manche Erze
d) der radioaktiven Wirkung:	Elektroskope	Relative Ionisation	Verstärkte Radioaktivität über Störungen	Verwerfungen, Ton- und Ölhorizonte

II. Messung des Verhaltens gegen künstliche äußere Einwirkungen.

Und zwar:	Apparate	Gegenstand der Messung	Äußerung der Störung	Anwendungen
a) Verhalten gegen elastische Wellen:				
1. Akustische Messungen	Oszillatoren, Mikrophone	Laufzeiten bei direktem Weg, Brechung und Reflexion	Form der Laufzeitkurve, Weg der Strahlen	Erze
2. Seismische Messungen	Erschütterungsmesser und Sprengungen	Laufzeit (Fortpflanzungsgeschwindigkeit)	Form der Laufzeitkurve, Weg der Strahlen	Erze, Kohle, Salz, verdeckte Tektonik

b) Verhalten gegen elektrische Ströme:				
1. Einfache Widerstandsmessung	Stromkreis mit Galvanometer	Widerstand des Kreises	Strom bei leitender Verbindung	Zusammenhang von Laugen und Erztrümern
2. Ausmessung eines künstlichen elektrisch. Feldes	Generator, Sonden mit Telephon	Äquipotentiallinien	Leiter dräng. Äqu.-Linien auseinander	Glänzende Erze, Kohle = gute Leiter Erdöl, Salz, Braunkohle = schlechte „ Verdeckte Tektonik (Schichtung). Zementierungen, Gefrierkränze
	Spulenrahmen und Generator	Richtung und Intensität des elektromagnetischen Feldes	Stellung der Windungsebene bei Ton-Min. = senkrecht zur Richtung der vom Leiter angesaugten Stromlinien	
	2 Spulen und Generator	Linien gleicher Intensität	Int.-Max. über Leitern	
3. Verwertung des Erdstromes				
α) Beeinflussung des natürlichen Erdstromes β) Elektrochemische Wirkung	Sekundärsonden mit Galvanometer	Äquipotentiallinien	a) Größerer Linienabstand über Leitern b) Störung meist im Zentrum der Kurven	α) Alle glänzenden Erze, Verwerfungen β) Meist sulfidische Erze
c) Verhalten gegen drahtlose Wellen:				
1. Absorptionsverfahren	Sender und Empfänger	Beschaffenheit des Empfanges	Bei Leitern zwischen Sender und Empfänger kein Empfang	In trockener Gegend: Erze, Kohle, Wasser
2. Reflexionsverfahren	Sender und Empfänger	Weg und Richtung der Strahlen	Leiter reflektieren, hinter Leitern Schattenwirkung	
3. Reflexions- und Interferenzverfahren; $^1/_4\lambda$-Methode	Sender und Empfänger	Änderung der Empfangsstärke mit der Wellenlänge	Maximaler Empfang, wenn Abstand = $\lambda/4$	
4. Kapazitätsverfahren	Sender	Änderung der Kapazität, also der Freqenz (resp. λ) und der Dämpfung	Stoffe hoher Diel.-Konst. erhöhen Kapazität, gute Leiter erhöhen Kapazität und Dämpfung	sonst: Laugenansammlungen, Zementierungen, Gefrierkränze

länge ein Maximum der Empfangsstärke ergibt und hieraus auf die Lage der leitenden Schicht geschlossen wird. Bei dem sogenannten Viertelwellenlängenverfahren arbeitet man nur mit einem Sender und erhält dann ein Maximum der Rückwirkung, wenn der Abstand der reflektierenden Schicht gerade ein Viertel der verwendeten Wellenlänge beträgt. — Ebenfalls nur mit einem Sendeapparat arbeitet man bei dem Kapazitätsverfahren (Fig. 25 rechts). Da die Eigenfrequenz eines Schwingungskreises von der Dielektrizitätskonstante der die Antenne umgebenden Schichten, die Frequenz und außerdem die Dämpfung der Schwingungen von der Anwesenheit von Leitern in der Umgebung der Antenne abhängt, so gibt die Beobachtung dieser beiden Größen ein Mittel an die Hand, um auf die Umgebung des Schwingungskreises Schlüsse zu ziehen. — In trockenen Gebieten, besonders Wüsten, hat man mit elektrischen Wellen schon mit Erfolg Erz, Kohle und Grundwasser festgestellt, während ihre Anwendung in unseren Breiten meist auf die Ermittlung von Laugenansammlungen in Salzbergwerken und die Untersuchung von Zementierungen und Gefrierkränzen beschränkt bleibt. —

Die geophysikalischen Aufschlußverfahren, die auf S. 435/5 nochmals übersichtlich zusammengestellt sind, stehen erst am Anfang ihrer Entwicklung. Indessen lassen die bisher schon erzielten Erfolge hoffen, daß sie, besonders bei zweckmäßiger gegenseitiger Ergänzung, sich zu einem immer unentbehrlicheren Rüstzeug des Bergmannes und des praktischen Geologen herausbilden werden.

Die Voigtländersche optische Werkstätte und ihre Umwelt.

Ein Ausschnitt aus einer weitergreifenden Darstellung photographisch-optischer Betätigung.

Von

M. v. Rohr in Jena.

In der *Centralztg. f. Opt. u. Mech.* hat Hr. H. Harting seit dem Ende Juli 1924 die Akten zum Voigtländerschen Betriebe[1]) veröffentlicht, die das Archiv jenes Hauses enthielt, und hier und da Ergänzungen aus anderen Quellen eingefügt. Nur mit Hilfe dieser zu einem großen Teile bisher unbekannten Unterlagen vermag man den Versuch einer zusammenfassenden Darstellung zu wagen, in der uns die leitenden Persönlichkeiten und ihre Umgebung einigermaßen deutlich und in ihrer wahren Farbe erscheinen. Wenn ich mit dem Zeitraum abschließe, da der letzte Voigtländer zur Leitung des Unternehmens nur einen ihm blutsverwandten Wissenschafter heranzog, so kann man den Versuch einer eingehenden Schilderung um so eher verteidigen, als keiner der damaligen Mitspieler mehr am Leben ist.

Ich habe verständlicherweise aber auch weitere Quellen herangezogen, und zwar lieferte eine gute Ausbeute C. v. Wurzbachs Sammlung österreichischer Lebensläufe,

---

[1]) Die Seitenzahlen dieser grundlegenden Veröffentlichung gebe ich im folgenden in [ ]; runde Klammern ( ) habe ich für die große Voigtländersche Streitschrift beiseite gestellt, die den aufmerksamen Leser eine ganze Menge wichtiger Einzelheiten entnehmen läßt. Hier wurden die Absätze jeder Seite mit $\alpha, \beta \ldots$ beziffert und durch die Anführung dieser Leitzahl ein kurzer und besonders deutlicher Hinweis ermöglicht. Gelegentlich wünschenswerte Nachweise sind mit starker Abkürzung der Zeitschriftentitel unmittelbar in den Text aufgenommen worden.

Vielleicht wird man hier und da die letzte Feile vermissen. Das erklärt sich durch eine plötzliche Erkrankung, die mich lange von Hause fernhielt. Ich konnte daher bei der Schlußdurchsicht auch nicht mehr auf die Belege selber zurückgehen.

die hier besonders für G. S. Plößl, für S. Stampfer und für die Voigtländers eingesehen wurde. Die Allgemeine Deutsche Biographie gibt nur hier und da eigene, verwertbare Angaben. Über J. Petzval habe ich die wichtigsten Quellen in *dieser Zeitschr.* **37.** *S. 1. 1907* zusammengestellt, denn hier versagen jene beiden großen Sammlungen ganz. Für die Umwelt kann ich vielleicht noch auf meine zusammenfassende Darstellung „Die Entwicklung des symmetrischen Objektivs mit Mittelblende aus gleichen und ähnlichen Teilen bis zur Ausbildung der Aplanate" *Centralztg. f. Opt. u. Mech.* **42.** *277; 294; 312; 327. 1921* und gelegentlich auf mein Buch „Die binokularen Instrumente" hinweisen.

Johann Christoph Voigtländer, geb. d. 21. XI. 1733, gest. 27. IV. 1797 (die gelegentlich angetroffene Jahreszahl 1779 beruht auf einem schon 1837 begangenen Druckfehler), war als Sohn eines Tischlers geboren und erlernte zunächst des Vaters Handwerk. Er stammte nach den neuerdings bekannt gewordenen Angaben aus einer bereits im 3. Gliede in Österreich eingebürgerten Familie und mag sich 1757 in Wien als Mechanicus niedergelassen haben[1]). Wir wissen nach Hrn. H. Harting [170], daß er mit der zehn Jahre jüngeren Marie Margarete Voigtländer (* 1743, † 24. IV. 1806), vermutlich einer Verwandten, verheiratet war, doch kennen wir die Zeit der Eheschließung nicht. Daß er zum Grafen Kaunitz einige Beziehungen hatte, wird berichtet, und man hört, es sei ihm schon im 6. Jahre nach seiner Niederlassung ein „Commercien-Schutzdecret" zur Anfertigung mathematischer Instrumente verliehen worden. Bei seinen Waren handelte es sich nach den verschiedenen, heute erhaltenen Berichten um mechanische Geräte, und so wird man also jene amtliche Anerkennung auffassen müssen: wenn er auch gelegentlich als Opticus und Mechanicus bezeichnet wurde, so hat er sich nach unseren heutigen Kenntnissen nur in dem an zweiter Stelle aufgeführten Gewerbe betätigt. Er muß sich von seinen Zunftbrüdern merklich abgehoben haben, sind uns von ihm doch zwei Abhandlungen erhalten, 1. Beschreibung und Gebrauch der von ihm verbesserten Pantographen, Wien 1785 und 2. Anweisung, die Nivellirwage mit einem Perspectiv genau zu rectificiren, Wien 1790. Er mag danach um den Ausgang seines 6. Lebensjahrzehnts ein erfahrener und geistig besonders regsamer Fachmann gewesen sein, und die Regierung erkannte das damit an, daß sie ihm — 1797 — eine „Landesfabriksbefugnis" erteilte, deren er sich allerdings höchstens ein Vierteljahr zu erfreuen hatte, da er schon in demselben Jahre, dem 65. seines Lebens, starb.

Es mag gleich hier hervorgehoben werden, daß seine beiden älteren Söhne Wilhelm (* 1768, † 1828) und Siegmund (* 1769, † 1822) wahrscheinlich als k. k. landesbefugte Mechaniker — diese Bezeichnung finden wir auf der einzigen uns [170] erhaltenen Preisliste dieses Geschäfts vom Jahre 1829 — ihren Betrieb weitergeführt haben, standen sie doch bei des Vaters Tode bereits im 29. und 28. Lebensjahre. Es ist weiterhin zu bemerken, daß dieses ursprüngliche, mechanische Geschäft, wie mit Sicherheit erst Hr. H. Harting ebenda feststellte, offenbar ohne Unterbrechung an Wilhelms Sohn Franz überging, der es, wie schon gesagt, bestimmt 1829, und zwar in dem damaligen Wiener Vorort Gumpendorf, führte. Man weiß auch, daß er es 1835 noch leitete, und es hat, allerdings nach wenig deutlichen Nachrichten, bis zum Jahre 1853 bestanden.

---

[1]) Daß die Angaben des Voigtländerschen Hauses die Zahl 1756 festhalten — gelegentlich hat Wilhelm Friedrich sogar die ganz unglaubwürdige Zahl 1748 angegeben —, ist schon früher bemerkt worden.

Der jüngste Sohn, Johann Friedrich (* 21. V. 1779), war bei des Vaters Tode eben 18 Jahre alt geworden und hatte wohl schon einen Teil seiner Ausbildung erhalten. Die Wurzbachsche Quelle gibt an, daß er sieben Jahre auf Reisen im Auslande zubrachte und 1808 seine Werkstätte in der Rauhensteingasse in Wien eröffnete. Nimmt man an, daß sich die Niederlassung gleich an seine Heimkehr anschloß, so hat er sich in seinem 22. Jahre ins Ausland auf Reisen begeben, die ihn auch nach England führten, wonach er sich dann 1808 in Wien niederließ. Die Voigtländersche Werkstätte zu Braunschweig hat gelegentlich 1815 als ihr Gründungsjahr angesetzt, vielleicht nach dem Ausgabejahr des Privilegs auf die periskopischen Brillengläser, doch muß man hier an einen Irrtum glauben. J. Fr. Voigtländer ist, wie aus dem Gesellenzettel G. S. Plößls [241] entnommen werden kann, bestimmt schon 1812 als bürgerlicher Drechslermeister in Wien tätig gewesen, und wenn somit in jener üblichen Angabe von 1815 mindestens schon ein Fehler von drei Jahren steckt, so wird man die durch Wurzbach sehr bestimmt noch weiter hinauf gerückte Gründungszeit, nämlich das Jahr 1808, ohne Bedenken annehmen.

Wie er sich während seiner Gesellenzeit zumal dem mechanischen Teile seines Berufes gewidmet hat, ist von jener Quelle besonders hervorgehoben worden. Auch war 1801 in Deutschland auf optischem Gebiete nicht viel zu lernen, denn das Utzschneider-Reichenbachsche Unternehmen wird frühestens erst etwa um 1807 auf den Markt getreten sein, und daß 1804 die deutschen optischen Werkstätten auf einen Staatswirt wie J. Utzschneider keinen bedeutenden Eindruck machten, können wir seinen eigenen Äußerungen entnehmen.

Und in der Tat bot London damals für einen strebsamen deutschen Optikergesellen eine starke Anziehung: nicht allein, daß man hier die Anfertigung von vollständigen achromatischen Erdfernrohren gründlich erlernen konnte — freilich wurde damals gerade in London die Hemmung durch den völlig ungenügenden Glasersatz lebhaft empfunden —, auch ein so zweckmäßiges Bearbeitungsverfahren des Glases, wie das Linsenschleifen auf Körpern, war den dort ansässigen Optikern völlig bekannt, während es in Deutschland noch nicht geübt wurde. Ließ doch ein sorgfältiger und durchaus nicht ununterrichteter Mann wie der Rathenower Pfarrer August Duncker in seinem Brillenbetriebe jede Linse einzeln schleifen und polieren, ja dieser unzweckmäßige Brauch erhielt sich in dieser größten norddeutschen Brillenanstalt noch unter seinem Sohne Eduard bis an die Mitte der 40er Jahre. Gerade diese englische Erfindung der Flächenbearbeitung hat die Wurzbachsche Quelle für Voigtländer als eines der wichtigeren Ergebnisse seiner englischen Lehrzeit hervorgehoben.

Es war aber nicht nur die wesentlich höhere Schulung als Schleifer, die Voigtländer dort erwarb, sondern noch mehr wird er verwertbare Kenntnisse auf dem Gebiet der Brille sowie mechanischer Geräte von da heimgebracht haben. Der „künstliche" Optiker im deutschen Sprachgebiete — der Angehörige dieses Handwerks hat sich wohl gern als *Opticus* oder als *Opticus* und *Mechanicus* bezeichnet — hatte in dem Brillengeschäft schwer unter dem Wettbewerbe der üblen Brillenfabriken zu Nürnberg und Fürth zu leiden, die ihm unter allen Umständen die Preise verdarben und es zur Ausbildung eines Brillenhandwerkers mit festen Überlieferungen nicht wohl kommen ließen. Das war in England anders: hier hatten auch die vornehmen Optikermeister, wie die Familie der Dollonds, J. Ramsden, S. Pierce, W. Jones u.a., zwar die zusammengesetzten Geräte auf eine anerkennenswerte Höhe der Vollendung gebracht, aber sie verachteten auch die Brille nicht und konnten bei dem Reichtum der Londoner Käufer für Prunkbrillen Preise fordern, die alles weit hinter sich ließen,

was aus früheren Jahrhunderten von Kosten für Prachtbrillen an üppigen Höfen überliefert ist. Die Erfindertätigkeit der Londoner Brillenoptiker war sehr rege und trotz der heute leider auch für London gültigen Erscheinung, daß der durchschnittliche Ladenoptiker für die Geschichte seines Berufs keine besondere Teilnahme zeigt, sind uns doch verschiedene Berichte von recht wichtigen Neuerungen aus jener Zeit erhalten. Ihrer zwei werden besonders stark auf den jungen Wiener gewirkt haben, und zwar in erster Linie die Herstellung von periskopischen Brillen, wie sie 1804 W. H. Wollaston geschützt worden waren, der sie von dem berühmten Dollondschen Hause ausführen ließ. Es ist nicht ausgeschlossen, daß Voigtländer sie sogar in diesem Hause kennen lernte, da der Patentschutz darauf wahrscheinlich 1807/8 noch bestand, doch ist, wie schon oben gesagt, Genaues von seiner Londoner Lehrzeit nicht bekannt. Ferner kam in dieser Zeit das in den Schließmuskel des Auges einzuklemmende Einglas auf, dessen verschiedene Formen uns in einer Anzeige des Jonesischen Hauses vom Jahre 1813 als Einzelgläser in silbernen Ringfassungen (*Single . . eye glasses, mounted in silver ring frames*) vorgeführt werden. Da Voigtländer diese Augenhilfe möglicherweise schon 1814 in der Heimat abgesetzt hat, so wird man ihre Erfindung zu London (durch wen?) wohl mindestens bis nach 1808 hinaufschieben müssen, obwohl mir bestimmte Anzeigen davon erst seit 1813 bekannt sind. Höchstens könnte man noch an Mitteilungen aus Londoner Geschäften an Voigtländer denken, doch waren die Schwierigkeiten des Verkehrs bei jener andauernd Kriege führenden Zeit wohl gar zu groß.

Mit dieser Schulung wird er 1807/8 London verlassen haben, und er erreichte — die Heimreise mag bei dem Kriegszustande zwischen England und Frankreich nicht eben bequem gewesen sein — 1808 seine Heimat. Er wird sich dort niedergelassen und seine Ehe mit der Tochter Amalie (* 1780, † 1861) des Stuttgarter Optikers Tiedemann geschlossen haben, jedenfalls begegnen wir ihm schon im Frühjahr 1812 als bürgerlichem Drechslermeister — in diese größere Handwerkergruppe gehörten nach der Rospinischen Darstellung von 1854/5 die Wiener Ladenoptiker noch bis in diese Zeit —, wo er — genauer im Mai 1812 — einen fähigen Gesellen, G. S. Plößl, annahm, von dem wir noch zu reden haben werden.

Der Geschäftsgang mag in den ersten Jahren recht mäßig gewesen sein. 1809 wurde der Heldenkampf gegen Frankreich durchgefochten und 1812 der russische Krieg geführt, und wenn hierbei Österreich mit der Stellung eines Hilfsheeres unter Schwarzenberg noch verhältnismäßig glimpflich abgekommen war, so wird das Wiener Geschäft doch nicht sehr geblüht haben. Das gleiche muß man wohl für 1813 und den ersten Teil von 1814 annehmen, und damit stimmt es gut überein, daß wir um diese Zeit von unserm Helden nichts hören. Dagegen wird der Wiener Kongreß 1814/5 mit dem Zusammenstrom von üppigen und verschwenderischen Hofleuten und Diplomaten dem Betriebe Voigtländers förderlich gewesen sein. Es ist vielleicht nur eine Sage, daß der holländische Diplomat J. van Boreel damals in Wien mit einem in das Auge geklemmten Einglase umherstolziert sei; trifft es aber zu, so wird er es eben bei Fr. Voigtländer erstanden haben als „Ringstecher", wie wir seinen damaligen Namen mit deutlicher Anlehnung an die englische Bezeichnung erschließen können. Und nun regte sich der junge Meister auch mit andern Erwerbungen seiner Lehrzeit: am 5. Juli 1815 wurde ihm, dem Mechanicus zu Wien, ein Privileg [241] für sechs Jahre auf die periskopischen Brillengläser erteilt. Gewiß wird er sie in Wien zuerst gemacht haben, aber vielleicht nicht im deutschen Sprachgebiet, wo sie über ein Vierteljahr zuvor in der Zeitungsanzeige des Berliner Vertreters von A. Duncker

erscheinen. Irgendeine Verbesserung wird übrigens an keiner jener Stellen versucht: darin stehen sowohl Rathenow wie Wien hinter den etwas früheren Pariser Bestrebungen von J. B. Biot und R. A. Cauchoix zurück.

Das Jahr 1823 bringt ein neues Privileg, und zwar auf das doppelte Theaterglas, womit Fr. Voigtländer wohl den Höhepunkt seines optischen Schaffens erreichte. Gewiß handelte es sich um keine Erfindung von allererstem Range: man weiß heute, daß das holländische Fernrohr schon 1608 auch als Doppelglas geliefert worden ist, und namentlich der Pater Chérubin d'Orléans hat in den 70er Jahren des 17. Jahrhunderts neben verzwickt angelegten auch sehr einfach zu bedienende übrigens sehr bequem der Augenweite anzupassende Doppelgläser abgebildet und empfohlen. Eine lückenlose Kette von Belegen für solche Hilfen beider Augen führt bis zu den Selvas in Venedig, und der jüngere venezianische Meister hat 1787 sogar ausdrücklich die der Augenweite anzupassende Verbindung zweier Operngläser mit achromatischen Objektiven empfohlen: Diese Vorgänger muß man berücksichtigen, wenn man Fr. Voigtländers Verdienst richtig einschätzen will. Ihm bleibt der Ruhm, die an sich schon bekannte, aber ihm wohl neue Verbindung zweier Handröhrchen mit Erfolg eingeführt zu haben, und eigentlich sollten die Millionen von Benutzern holländischer Doppelgläser dem Wiener Optiker für seinen Anteil an der Verbreitung dieses Geräts mehr Dank wissen, als es heute der Fall ist. Freilich kommt noch ein Pariser Mechaniker J. Ph. Lemière hinzu, der $1^3/_4$ Jahr danach, im Frühjahr 1825, wie in der *Deut. Opt. Wochenschr. 1924.* ***10.*** *241* im einzelnen nachgewiesen, eine ungemein zierliche gemeinsame Einstellung für beide Einzelrohre vorsah.

Über den Glasersatz in der Voigtländerschen Werkstätte berichtet uns Hr. H. Harting [139] und teilt unter anderen auch Brechzahlen mit, die 1839 und 1850 daselbst verwandt wurden. Daß nähere Zeitangaben fehlen, hat er schon lebhaft bedauert. Daß man einmal — vielleicht früh — Versuche gemacht hat, für optische Zwecke auch Glas aus österreichischen Hütten (z. B. „rotes, gelbes, grünes altkaiserliches") zu verwenden, kann man aus diesen Mitteilungen ersehen.

Das „alt Guinandische" Kron und Flint geht wahrscheinlich auf die von P. L. Guinand zu *les Brenets* im Kanton Neuenburg begründete Hütte zurück. In der Tat hatte dieser schon ziemlich frühzeitig (*Die Naturw. 1925.* ***13.*** *621*) in A. Schwaiger zu Wien eine Art Vertreter, doch möchte man bei dem etwas eifersüchtigen Geschäftsbetriebe, der damals für Optiker derselben Stadt die Regel gewesen zu sein scheint, nicht recht an eine engere Handelsbeziehung zwischen den beiden Wiener Handwerksmeistern glauben.

Danach mag — vor 1835 — das Glas von Daguet & Berthet bezogen worden sein und schließlich von Th. Daguet in Solothurn allein. Auf einen weiteren Versorger, G. Bontemps bei Chance Bros. in Birmingham, werden wir noch weiter unten einzugehen haben, es läßt sich zunächst nicht genauer bestimmen, wann dieser mit seinen Lieferungen nach Braunschweig begonnen hat; ich möchte glauben, daß es ziemlich früh in den fünfziger Jahren geschehen sein mag. Seit 1857 war aus der Schweiz ja überhaupt kein optisches Glas mehr zu beziehen.

Glasmessungen mögen zunächst von S. Stampfer ausgeführt worden sein; später hat W. Fr. Voigtländer großen Wert darauf gelegt, daß er derartige Bestimmungen selber machen konnte.

A. Schwaiger tritt übrigens 1825, mit einem anderen Optiker B. Wiedhold vereinigt, als Erfinder der an die Augenweite anpaßbaren Voigtländerschen Doppelfernrohre auf; wie man sieht, war auch das eine Erfindung von mangelnder Neuheit.

Um diese Zeit muß aber der Wirksamkeit J. J. Prechtls (* 1778, † 1854) gedacht werden, dem seit 1814 die Leitung des Wiener Polytechnischen Instituts übertragen worden war. Lebhaft bestrebt, die ihm anvertraute Anstalt zu fördern, gelang es ihm, 1819 durch Reichenbach die mechanische Werkstätte dieser Fachschule einrichten und durch den fähigen Mechaniker Starke (* 1795, † 1865) weiterführen zu lassen. Im Jahre 1832 wurden sogar von dieser Werkstätte astronomische und geodätische Instrumente angezeigt, deren optische Ausrüstung von dem Utzschneider-Merzischen Betriebe aus München oder von G. S. Plößl bezogen wurden.

Es ist anzunehmen, daß der am Polytechnischen Institut angestellte Wiener Mathematiker S. Stampfer (* 1792, † 1864) gern bereit war, den Optikern seiner Vaterstadt mit seinem Rate zur Hand zu gehen. Ob das schon 1829 bei den „extra periskopischen“ Gläsern Voigtländers der Fall gewesen ist, läßt sich sehr schwer sagen; möglich ist es ja auch, daß Fr. Voigtländer selber die Radienpaare bei stärkerer Durchbiegung ermittelt hat; nach den Angaben seines Patents war er im Besitze der dazu nötigen Annäherungsformeln für dünne Linsen.

Beziehungen Stampfers zu G. S. Plößl kann man aus dessen dialytischen Fernrohren folgern, die in dem von Hrn. Harting [22] veröffentlichten Aufsatz aus dem Jahre 1829 einer von A. Rogers ausgehenden Anregung zugeschrieben werden; man wird wohl annehmen können, daß auch mit Voigtländer eine Verbindung angeknüpft wurde, da dieser — nach dem Briefe Gaußens vom Jahre 1839 [18] zu schließen — dem Göttinger Gelehrten ein größeres dialytisches Fernrohr zur Probe angeboten hatte. Eine solche Rechnung zur Ausführung hat sich in der Tat auch, von Stampfers Hand und aus dem Jahre 1839 stammend [36], erhalten; doch wissen wir von einer Herstellung derartiger Fernrohre in der Voigtländerschen Werkstätte und für den Markt nichts, wie auch Hr. Harting [37] hervorhebt. Bestimmt aber sind solche Einwirkungen für die Objektive der Zugfernrohre nachzuweisen, indem dafür Werkstattzettel von 1842 und 1850 [38] vorliegen. Das Objektiv läßt die Farben B und F zusammenfallen, ist also nach unsern heutigen Kenntnissen hinsichtlich der Farben etwas überbessert.

Soweit ich die Wiener Preislisten kenne, ist Stampfers Tätigkeit für die gewerbsmäßigen Hersteller von Objektiven Fraunhoferscher Anlage — und er hatte seine beiden ganz wichtigen Arbeiten darüber schon 1828 in den Jahrbüchern des polytechnischen Instituts erscheinen lassen — von diesen Anzeigen nicht hervorgehoben worden. Ich kann daher auch gar keine Angabe darüber machen, unter welchen Bedingungen er den beiden großen Wiener Betrieben hierfür und für die dialytische Anlage seine Arbeitskraft zur Verfügung stellte.

In diesen Jahren wird sich auch das lebhaft aufblühende Ladengeschäft des bei Voigtländer ausgebildeten und im September 1823 ausgetretenen G. S. Plößl im Wettbewerb fühlbar gemacht haben; von ihm kennen wir (nach der *Zeitschr. f. ophthalm. Opt. 1924.* **12.** *S. 121*) eingehende Preislisten, denen wir, wie natürlich, einen starken Einfluß englischer, also wahrscheinlich durch Voigtländer vermittelter Gedanken entnehmen müssen.

G. S. Plößl war zu Wieden bei Wien am 19. IX. 1794 als Sohn eines Tischlers geboren und wurde als Drechsler ausgebildet. Er war also gerade in dem Handwerk erzogen, zu dem, wie oben bemerkt, die Optici in Wien damals gehörten. Jedenfalls hatte er im Jahre 1812, also in seinem 18. Lebensjahr, seine Lehrlingszeit beendet, und er trat, wie wir aus einem durch einen merkwürdigen Zufall [241] erhaltenen Zuschickzettel der Wiener Drechslerinnung wissen, bei dem Meister J. Fr. Voigt-

länder am 9. V. in Stellung, woselbst er $11^1|_2$ Jahr blieb. Daß er dort für unbegabt galt und infolge seiner so vermuteten Ungefährlichkeit Zutritt auch zu den inneren Arbeitsräumen des Werkes erhielt, muß in Wien in weiten Kreisen geglaubt worden sein, da eine solche Darstellung in der durchaus ernsthaft zu nehmenden Wurzbachschen Sammlung wiedergegeben wurde.

Jedenfalls zeigte er sich, als er im Jahre 1823 ein Geschäft in der Salvatorgasse eröffnet hatte, ungemein befähigt, und es ist denkbar, daß sein Wettbewerb dem Voigtländerschen Unternehmen recht fühlbar wurde, wiewohl dieses nach unsern Schlüssen immer noch den reicheren Teil der Brillenkundschaft behalten haben mag. Die erste Plößlsche Preisliste ist bis jetzt nicht bekannt, die vermutlich zweite dagegen mit den gleichzeitigen Bemerkungen in den *Astron. Nachr.* vom Okt. 1829 — also etwa 6 Jahre nach der Geschäftseröffnung — gibt uns in verschiedener Hinsicht sehr erwünschte Auskunft. Schon damals ist der Geschäftsinhaber mit dem schon durch seine Familienbeziehungen angesehenen Hochschullehrer J. Fr. v. Jacquin bekannt gewesen. Dieser Lehrer der Chemie und Botanik ist, wie bei Wurzbach hervorgehoben wird, von Voigtländer ab- und zu Plößl hingegangen. Ihn mögen namentlich dessen Mikroskope angezogen haben, die er auch dem einflußreichen Schumacher empfahl. Die Preisliste in den Astr. Nachr., die in großer Ausführlichkeit eingerückt wurde, wird von dem musterhaften Beispiel J. Fraunhofers mit seinen Geschäftsanzeigen beeinflußt worden sein. Man kann daraus erkennen, daß alle Gebiete der damaligen ausführenden Optik, Brillen, Fernrohre, Feldstecher, Lupen und Mikroskope, gepflegt wurden, den Ausdruck *Feldstecher* verdanken wir sogar jenem Wiener Hause, denn in den einführenden Aufsätzen wird er ausdrücklich als neu hervorgehoben. Wenn er — obwohl der 1823 Voigtländern erteilte 5jährige Schutz auf doppelte Perspektive doch wohl schon abgelaufen war — 1829 und auch 1833 solche Doppelrohre nicht anbot, so kann man daraus vielleicht schließen, daß er mit dem alten Lehrherrn auf einem freundschaftlichen Fuße zu bleiben wünschte. Daß der im 35. Lebensjahre stehende Inhaber mit S. Stampfer bekannt war, ja sogar nach seinen Angaben für Fernrohre arbeitete, kann wohl schon für diese Zeit angenommen werden, wenngleich man, wie schon oben bemerkt, eine Anerkennung davon in diesen Listen, von dem Optometer abgesehen, nicht findet. Das wird namentlich für Dialyte gelten, die er in mustergültiger Ausführung geliefert zu haben scheint. Ich erwähne auch nach den Wurzbachschen Angaben noch, daß er davon ziemlich große Stücke ausgeführt hat, so 1850 für den Sultan einen parallaktisch montierten Refraktor von $11' = 3{,}5$ m Brenn- [? wohl Schnitt-] weite und $10^1/_2'' = 27{,}6$ cm Öffnungsdurchmesser zum Preise von 13000 fl = 22000 G.-Mk. Um jene Zeit muß er überhaupt astronomische Geräte in einigermaßen großer Zahl geliefert haben; so gibt eine Quelle für die Öffnungsdurchmesser $6''$ [$15^3|_4$ cm], $7^1/_2''$ [$19^3/_4$ cm] und $8''$ [21 cm] je für Jassy, Athen und Biczke an. Jedenfalls ist ihm 1847 die große goldene Civil-Ehrenmedaille für Kunst und Wissenschaft verliehen worden. Der bis zuletzt arbeitsfähige und -freudige Mann ist am 29. I. 1868 an einer in seinem Beruf erlittenen Verletzung, also wirklich in den Sielen, gestorben.

Von Voigtländer selber können wir durch Rückschlüsse (nach der *Ztschr. f. ophthalm. Opt. 1925.* ***13.*** *40/1*) ermitteln, daß er um die Zeit nach der Veröffentlichung der Doppelfeldstecher, 1824 oder 25, die ersten starren Glasbrillen herausgebracht hat, die sich später, durch andere Hände weiter ausgebildet, zu den heutigen Glasbrillen mit Metallverbindung entwickelt haben und lange Zeit als „Wiener Patentbrillen" bekannt waren.

Die ersten Anzeigen und Preisblätter stammen [254/5] aus der zweiten Hälfte der 20er Jahre und enthalten von optischen Gegenständen Brillen und Perspektive, von mechanischen kommen Zirkel und Reißfedern vor. Zu den Perspektiven sei bemerkt, daß hier die große Werkstätte von Utzschneiders vorläufig außer Wettbewerb blieb, denn die dort 1811 angezeigten Theatergläser erscheinen schon in der nächsten, wohl von Fraunhofer selber aufgestellten Liste nicht wieder; vielleicht hat Fraunhofer sie zu jener Zeit ebenso wie Brillen der von ihm geforderten Genauigkeit für unwert erachtet. Die kleineren Werkstätten und einzelnen Handwerksmeister des deutschen Sprachgebiets haben sie aber als Einzelrohre geführt. Ebenso wie wir es bei Voigtländer und Plößl sehen, gilt das ungefähr um die gleiche Zeit für Duncker in Rathenow, für J. Niggl in München und für andere handwerksmäßige Betriebe in Leipzig und Berlin. Auch Kaleidoskope, es handelte sich hier um eine D. Brewster 1818 geschützte Erfindung, sind in großer Zahl noch 1835 geliefert worden.

Ich weiß nicht, ob man daran schon den Einfluß des Geschäftsnachfolgers erkennen kann, jedenfalls muß man sich diesem hier zuwenden. Peter Wilhelm Friedrich Voigtländer war am 17. XI. 1812 geboren, wurde zunächst im Geschäft des Vaters ausgebildet, besuchte auch das Wiener polytechnische Institut und brachte sodann mehrere Jahre auf Reisen durch Deutschland, Frankreich und England zu, bis er 1834 jedenfalls wieder in Wien war. Setzt man nur 2 Jahre für diese Reisen an, so hat er in seinem 20. Jahre, also noch etwas eher denn sein Vater, seine Wanderschaft ins Ausland angetreten. Im Oktober 1834 zeigte er nach Herrn H. Harting [140] im Wiener Prater einen Dampfstraßenwagen, der dem Hancockschen Dampfomnibus von 1831 ähnlich gesehen haben soll. Diese Sache geht uns hier nur insoweit an, als sie den Unternehmungsgeist des jungen Mannes erkennen läßt. 1835 übernahm er, wie in der Wurzbachschen Darstellung ausdrücklich angegeben ist, das Geschäft seines Vaters, der sich also mit dem 56. Lebensjahre mehr oder minder zur Ruhe gesetzt haben mag. Nicht allein stimmt die von einem mir unbekannten F. X. M. abgefaßte Darstellung aus dem Jahre 1865 mit dieser Angabe überein, sondern auch Voigtländers eigene Andeutung (69 γ) läßt sich für eine solche Selbständigkeit anführen[1]. Der Betrieb führte den Namen Voigtländer & Sohn, und unter den Fachgenossen erfreute sich der im Jahre 1840 61 jährige Geschäftsbegründer eines hohen Ansehens, wie ihm z. B. gegen das Ende des Jahres 1843 die Dauer seines Ehrenamtes im Niederösterreichischen Gewerbeverein verlängert wurde. Für die geschichtliche Entwicklung des von ihm gegründeten optischen Betriebes kommt er nicht weiter in Betracht, er war der Altmeister, dessen Hinscheiden am 28. III. 1859 weder auf Kunden noch auf die Zunftgenossen irgendeinen tieferen Eindruck machte. Um die persönlichen Angaben hier vorwegzunehmen, sei bemerkt, daß Wilhelm Friedrich nach kurzer, erster Ehe mit einer Italienerin 1845 Frau Nanny Sommer geb. Langenheim (* 1812, † 1902) heiratete.

Es ist möglich, daß unter dem jungen Teilhaber oder Leiter im Brillengeschäft Vereinfachungen insofern durchgeführt wurden, als man die extra-periskopischen Brillen des ausgehenden dritten Jahrzehnts stillschweigend aufgab und in der Regel gleichseitige Gläser absetzte. Indessen ist unsere Kenntnis nur auf einem Rückschluß (in der *Zeitschr. f. ophthalm. Opt. 1925.* **13.** *39*) aufgebaut und nicht besonders gut gesichert.

[1]) Warum in Poggendorffs Handwörterbuch das Jahr 1837 angegeben worden ist, entzieht sich meiner Kenntnis. Ich sehe aber darin keinen Grund, von der obigen, gut belegten früheren Zahl abzugehen.

Mit den Fernrohren aber scheint sich Wilhelm Friedrich eingehend beschäftigt zu haben, was aus einem Briefe [18] des großen Gelehrten C. F. Gauß folgt, mit dem er am 21. X. 39 ein sehr günstiges Urteil über 4 ihm als Muster zugestellte Erdfernrohre abgibt. Wenn in der Tat, wie auch Hr. H. Harting vermutet, diese Fernrohre — es wird sich um die von Fraunhofer festgelegte und von Stampfer bekannt gegebene Bauart gehandelt haben — von Wilhelm Friedrich ohne weitere Beratung mit einem der Wiener Gelehrten angefertigt wurden, so kann man einen Stolz des Verfertigers auf sein Werk wohl verstehen; er wird sich einer wissenschaftlichen Betätigung für fähig gehalten haben, obwohl jenes billigende Urteil doch nur der Ausführung gelten mochte. Damit stimmt es ganz wohl überein, daß wir in der ersten größeren Voigtländerschen Preisliste [20/1] — sie wird vom Jahre 1840 oder 41 stammen, da darin zwar die kleine Bildnislinse, „der Anderthalbzöller", aber noch nicht der 1842 ausgegebene Dreizöller angezeigt ist — den Erdfernrohren einen ziemlich breiten Raum zugestanden finden. Unter den Zug- (und Stock-) Fernrohren finden sich nicht weniger als 16 Nummern. Sehr kennzeichnend ist es, daß nach Fraunhofers Vorgange seit 1816 auch hier achromatische Objektive in einfacher Ringfassung befreundeten Mechanikern angeboten werden. Ich gebe die Aufstellung nach der Umrechnung in cm und S.-Mk.[1]), um eine bequeme Vergleichung mit dem Fraunhoferschen Schaubilde (*Die Naturwiss.* **12**. *S. 786 l, 1924*) zu ermöglichen.

Öffnungsdurchmesser zweilinsiger Objektive in cm und ihre Preise in S.-Mk. für Fr. Voigtländer & Sohn um 1840/1.

Durchmesser	1,5	2,2	2,6	3,0	3,1	3,6	4,0	4,2	4,4	5,3	6,2	7,0	7,9 cm
Preis	7,7	15,3	17,2	22,0	25,4	30,6	34,4	40,1	45,8	68,6	114,5	171,8	267,5 S.-Mk.

Durch Vergleichung kann man feststellen, daß der Fraunhofersche Preis von 1816 für das größte Objektiv dieser kurzen Reihe nicht ganz erreicht wird, was bei dem Zeitunterschiede von etwa einem Vierteljahrhundert recht wohl verständlich ist. Um aber ein gerechtes Urteil abzugeben, muß man beachten, daß Fraunhofer 1816 (1820) in seinen Mechanikerobjektiven bis zu Durchmessern von 13,5 (16,2) cm gegangen war, wogegen sich die nicht ganz 8 cm erreichenden Stücke hier doch recht bescheiden anlassen. Bei den Preisen sieht man es noch deutlicher; sie würden gegen hier nicht ganz 270 S.-Mk., bei Fraunhofer etwa 1350 (2330) S.-Mk. betragen haben. Ein solcher ausdrücklicher Hinweis auf den Unterschied der Leistung eines allgemein anerkannten Meisters und eines zuverlässigen Handwerksmeisters erscheint heute bedauerlicherweise notwendig, wo man in Schriften für Optiker gelegentlich allen Ernstes August Duncker neben Ernst Abbe gestellt findet, was dem Geschichtskundigen doch einen recht peinlichen Eindruck macht.

In dieser großen Liste nehmen auch rein mechanische Geräte zum Ziehen von Parallellinien für Kupferstecher, zur Messung der Feinheit und der Dehnbarkeit von Wolle, neben Wagen und Reißzeugen einen ziemlichen Raum ein.

Daß sich W. Fr. Voigtländer mindestens später auch für die Objektive der Zugfernrohre der Hilfe S. Stampfers bediente, zeigen jene beiden Werkstattszettel, von denen Hr. H. Harting [38r und l] spricht. Solche Zugfernrohre, die vielfach in Nußbaumkästen mit einem zusammenlegbaren Messingständer in der damals zu Wien üblichen Art — von G. S. Plößl sind derartige Stücke in der Zeissischen Sammlung

[1]) Die S.-Mk. (Silbermark) mit dem seit 1872 gesetzlichen Feingehalt von 5 g erwies sich zur Vergleichung der älteren Preise deutscher und österreichischer Häuser notwendig: Nähere Einzelheiten dazu finden sich in der *Zeitschr. f. ophthalm. Opt.* **12**. *S. 122a. 1924.*

noch erhalten — bezogen werden konnten, hatten dem bekannten Astronomen und Herausgeber der Astronomischen Nachrichten Schumacher 1846 vorgelegen und wurden von ihm mit hohem Lobe bedacht. Man erkennt also, daß W. Fr. Voigtländer auch zu der Zeit besonders starker Nachfrage nach seinen photographischen Linsen mindestens die alten Zugfernrohre nicht vernachlässigte. Da E. Busch gerade um diese Zeit die Massenherstellung von Operngläsern und holländischen Fernrohren begann, so ist vielleicht anzunehmen, daß Voigtländer diese Geräte nicht in besonders großen Mengen herausgebracht hat; dagegen muß man aus den von 1844 ab regelmäßig angezeigten Petzvalschen Feldstechern nach Hrn. H. Harting [82] schließen, daß dieser Geschäftszweig durchaus nicht etwa aufgegeben wurde.

Einige vergleichbare Preise mögen danach hier folgen. $19''' = 41^3/_4$ mm.

Einfaches Perspektiv mit $19'''$-Objektiv und $2^1/_2$facher Vergrößerung	früher 18 fl	= 34,4 S.-Mk.
	1844 15 „	= 28,6 „
Doppel-Perspektiv mit Schraube ohne Griff mit $19'''$-Objektiven mit $2^1/_2$facher Vergrößerung	früher 50 fl	= 95,5 S.-Mk.
	1844 35 „	= 67 „

Petzvalsche Gläser ebenfalls mit $19'''$-Objektiven vom Jahre 1844:

Einfaches Perspektiv ganz von Messing 3facher Vergrößerung	19 fl	= 36,3 S.-Mk.
„ „ von Elfenbein mit silber- oder goldplattierter Auszugsröhre und Fassung	22 „	= 42 „
Doppel-Perspektiv in dieser Ausführung mit Schraube zum Einstellen	50 „	= 95,5 „

Hält man dagegen die aus dem gleichen Jahre von E. Busch überlieferten Preise für Einzelperspektive von 5 bis 14 S.-Mk., für Doppelperspektive von 9,2 bis 26,7 S.-Mk., so erkennt man den Unterschied in der Bewertung durch die Käufer, denn auch seine teuersten Stücke blieben doch wesentlich unter den niedrigsten Voigtländerschen Preisen, die sich für Perspektive kleineren Durchmessers als $19'''$ mit je 17,2 und 38,2 S.-Mk. für Einzel- und Doppelgläser angegeben finden.

Zu bemerken ist aber weiterhin, daß nicht alle derartigen Anregungen Stampfers auch auf Erweiterungen der Herstellung führten. Das gilt ebensowenig von dem am 10. Juni 1839 an Voigtländer gelieferten Zettel mit der Dialyt-Rechnung wie von den anscheinend längere Zeit hindurch fortgesetzten Arbeiten am Mikroskopobjektiv. Die grundsätzliche Anlage dafür scheint die nach G. Merz von 1829 oder nach J. J. Lister von 1830 gewesen zu sein, wo die Linsen einzeln und zusammengeschraubt zu verwenden waren. Nach dem Listerschen Plane konnte man von der Dingseite aus nach Belieben die Linsen eines zusammengesetzten Objektivs entfernen, ohne die Hebung der Kugelabweichung zu stören. Bemerkenswert ist die große optische Rohrlänge von 60 bis 68 cm, die Stampfer seinen Rechnungen zugrunde legte. Hr. Harting setzt [67] die Vorbereitungen für den Mikroskopbau in den Anfang der 40er Jahre, doch kam es damals zu keiner Ausführung. Daß Stampfer mit der Berechnung von Mikroskopobjekten überhaupt begann und die alten tappenden Versuche durch rechnende Untersuchung ersetzen wollte, muß jedenfalls anerkannt werden.

Wir nähern uns jetzt dem Anlaß, der für die Wiener Werkstätte entscheidend werden und der, obwohl eine ungewöhnlich glänzende Gelegenheit, die deutsche optische Kunst dauernd zu fördern, im wesentlichen versäumt wurde, immer mehr den 1840 allem Anschein nach ganz handwerksmäßigen Wiener Betrieb zu einer bedeutenden

Anstalt im wesentlichen für photographische Zwecke entwickeln sollte, nämlich der Erfindung der Bildnislinse durch Petzval. Wir müssen zu vollem Verständnis etwas weiter ausholen.

In den beiden westlichen Ländern mit älterer und verfeinerter Gesittung waren dunkle Kammern als Zeichenhilfen weit verbreitet. An zwei Stellen hatte man unabhängig voneinander Verfahren erdacht, das von dem Zeichenblatt allseitig zurückstrahlte, reizvolle Bild auf besonders vorbereitete Flächen wirken zu lassen und es daselbst durch chemische Mittel festzuhalten. Zuerst wurde das Endergebnis der beiden miteinander verbundenen französischen Erfinder N. Niepce und L. Daguerre, der staunenden Welt mitgeteilt, und zwar geschah das in der Sitzung der Pariser Akademie der Wissenschaften vom 7. Januar 1839. Noch waren Einzelheiten nicht bekannt, als sich bereits am Ende des gleichen Monats der englische Erfinder F. Talbot mit seiner Entdeckung meldete und dadurch die Spannung in der gelehrten Welt noch weiter erhöhte. Wie groß diese Spannung war, läßt sich auch aus dem Bericht entnehmen, den Fr. v. Kobell und C. A. Steinheil in der ersten Aprilhälfte der bayrischen Akademie der Wissenschaften vorlegten; sie hatten auf die bloße Kunde von den französischen und englischen Arbeiten hin entsprechende Versuche angestellt, in deren Verlauf ihnen die geringe chemische Wirksamkeit der grünen Strahlen auffiel. Für uns ist hier, abgesehen von der Freude über eine so frühe und selbständige Leistung heimischer Gelehrter, ihre Arbeit hauptsächlich darum wichtig, weil die Aufnahmekammer rohrförmig gestaltet und die Einstellvorkehrung an der Aufnahmelinse angebracht war.

Verständlicherweise war die Arbeit mit dem neuen Verfahren in den westlichen Ländern viel reger, auch nach den Oststaaten Nordamerikas griffen diese Bestrebungen über, und es kennzeichnet die Lage sehr gut, daß man sich an den verschiedenen Stellen besonders eifrig damit abgab, das neue Verfahren für die Herstellung von kleinen Bildnissen zu verwenden. Uns Kindern eines Jahrhunderts altgewohnter photographischer Betätigung wird es schwer, uns gerade für die Bildnisbeschaffung die alte Zeit lebhaft vorzustellen: der in den Zimmereinrichtungen der Biedermeierzeit so bestimmend auftretende Schattenriß ist ja nur ein Zeichen für die Unmöglichkeit, sich mit beschränkten Mitteln eine bildhafte Darstellung von Privatpersonen zu verschaffen. Gewiß gab es auch Bildnismaler, aber ihre Werke waren für die bescheidenen Verhältnisse des deutschen Bürgertums in den dreißiger und vierziger Jahren in der Regel unerschwinglich. Wie wichtig gerade diese Anwendung der neuen „Lichtmalerei" den Fachleuten erschien, kann man am besten daraus ersehen, daß selbst nach unseren, gar nicht vollständigen Quellen damals nicht weniger als drei Bildnismaler, L. Daguerre in Paris, H. Collen in London und Isenring in St. Gallen für eine solche Erweiterung ihrer Mittel lebhafte Teilnahme zeigten.

Natürlich wandte man sich an seinen Optiker, Daguerre an Ch. Chevalier und Collen an A. Ross, und glücklicherweise ahnten diese in keiner Weise unfähigen Handwerksmeister nichts von der Schwierigkeit der ihnen gestellten Aufgabe. Auch andere Optiker nahmen ähnliche Anregungen auf, so der regsame, vielleicht sogar einigermaßen verstiegene Edinburger Optiker Th. Davidson und, von allen der fähigste, A. S. Wolcott, ein Amerikaner, von dessen Bildungsgang und Schicksal wir betrübend wenig wissen. Alle diese Fachleute gingen frisch an ihre Arbeit, und wir können, mochten sie nun wie Chevalier den Satzgedanken, oder wie Davidson die symmetrische Anlage, oder wie Wolcott die Verwendung eines Aufnahmespiegels ihrer Arbeit zugrunde legen, an ihnen keinen Tadel finden, denn alle diese Richtungen sind später

von anderen eingeschlagen und ihrer manche zu einem sehr erfreulichen Ende gebracht worden. Aber den Stein der Weisen hatte keiner dieser Erfinder gefunden, und man erkennt das mit großer Klarheit aus dem Preise, den die Pariser Gesellschaft zur Beförderung des Gewerbfleißes auf eine optische Verbesserung aussetzte, die Belichtungsdauer bei photographischen Aufnahmen abzukürzen.

Der Wiener Physikprofessor Andreas v. Ettinghausen, war im August 1839 auf Staatskosten nach Paris gesandt worden, um der Veröffentlichung des Daguerreschen Verfahrens beizuwohnen, und hatte dort an der Quelle von der ärgerlichen Lücke in der optischen Ausrüstung des Photographen gehört. Es ist ganz verständlich, daß er, heimgekehrt, darüber mit seinem Kollegen Petzval sprach, der ihm drei Jahre zuvor auf den von ihm zugunsten seiner Physikprofessur verlassenen Wiener Lehrstuhl für höhere Mathematik gefolgt war. Nach dem, wie wir wissen, schon für die zwanziger Jahre bezeugten Bestreben von Wiener Gelehrten, dem optischen Handwerk behilflich zu sein, versteht man wohl, daß sich Petzval mit Eifer dieser Aufgabe hingab, die ihm zwar durch seines Kollegen Vermittlung, aber tatsächlich von den ausländischen Praktikern gestellt worden war. Es handelte sich um die Anlage einer lichtstarken Linsenfolge mit einigermaßen großem Felde. Die Aufgabe war neu, denn die noch am nächsten stehenden Linsenverbindungen für den Bildwerfer mit auffallendem Licht, wie sie um 1831 oder früher von dem Engländer M. Madder zusammengebaut worden waren, hatten keine Lebenskraft besessen. Petzval befand sich also vor einer Aufgabe die nicht allein ihm neu war, sondern selbst für einen erfahrenen Fachmann so ganz aus allem Gewohnten herausfiel, daß die geistig regsten Optiker der verschiedenen Länder ja aller von ihnen aufgewandten Mühe zum Trotz keine brauchbare Lösung zustande gebracht hatten.

Petzval behandelte die ihm vorgelegte Aufgabe analytisch, wie wir heute sagen würden mit sehr leistungsfähigen Vorrechenformeln, und bedurfte dazu — als Mathematiker wird er damals physikalische Messungen schon aus Mangel an Meßgeräten nicht leicht selber haben ausführen können — der Brech- und Zerstreuungszahlen für gewöhnliches Kron und Flint. Dieser Angaben halber, die ein Optiker mit Erfahrung im Fernrohrbau ohne Schwierigkeit liefern konnte, wandte er sich an den damals 27jährigen, ihm von seinem Kollegen empfohlenen Optiker W. Fr. Voigtländer; es ist so gut wie sicher, daß ihm G. S. Plößl den gleichen Dienst hätte leisten können. Im Besitze dieser Grundlagen — er bekam die Zahlen für eine optische Farbenhebung — förderte er seine Rechnung so eifrig, daß um die Mitte des Jahres 1840 seine Linsenverbindungen zur Ausführung bereit waren. Auch er war von dem Satzgedanken ausgegangen, und zwar konnte das achromatische Vorderglied I seiner Doppellinse mit zwei verschiedenen achromatisierten Hintergliedern II und III verbunden werden. I + III bildete die weltberühmte Bildnislinse Petzvals. Die Zusammensetzung der drei Sonderglieder als achromatischer Linsenpaare aus jener Zeit ist aktenmäßig bekannt.

Auf dem geschichtlich denkwürdigen Werkstattzettel, den Petzval seinem Optiker übergeben hat, fehlt die Angabe des Luftabstandes zwischen I und III. Wir kennen seine spätere Bemessung nach einer Bildnislinse Voigtländerscher Herstellung (Nr. 3811) seit dem Februar 1901 genau; nach der 1899 von Hrn. J. M. Eder veröffentlichten Steinheilschen Nachmessung der ersten Ausführung und nach der Schnittzeichnung der ersten Voigtländerschen Veröffentlichung im Jahre 1841 muß solch ein Abstand bereits ganz früh verwandt worden sein. Zieht man aber die Reindlsche Beschreibung des Dreizöllers von 1842 heran, so erkennt man, daß mindestens damals schon genau dieser Wert für den Abstand verwandt wurde, und für die auch sonst

gesicherte Sorgfalt Voigtländers in der Einhaltung der ihm vorgeschriebenen Einzelheiten liefert die 1901 festgestellte Entfernung geradezu einen schönen Beweis. Nun muß man im Gegensatz dazu hervorheben, daß Petzval 1857 einen weit größeren Abstand — diesen habe ich 1899 unbesehen als richtig angesetzt — angab, und daß dieser — der aber nach den 1899 mitgeteilten Rechnungen auf lange kein so befriedigendes Endergebnis führt, wie der kürzere — vorläufig doch als der aus seinen Formeln folgende Wert angesehen werden muß. Später sind mir dann die Augen für die ganz alte Verwendung eines kürzeren Abstandes aufgegangen, und ich habe es für meine Pflicht gehalten, auf die abweichenden Linsenabstände hinzuweisen, die ich seit dem Anfang des Jahres 1901 als maßgebend ansah und noch ansehe. Ferner ist es ganz sicher gestellt, daß von vornherein im Hintergliede III eine versuchsmäßig ermittelte Linsentrennung vorgenommen und daß diese Abweichung von der Vorschrift in der Zukunft beibehalten wurde.

Vielleicht muß man doch eine gewisse Abweichung der unbekannten Petzvalschen von den zweifellos richtigen Seidelschen Fehlergliedern annehmen, da ja auch die lichtschwächere Verbindung (I + II) die später gegen Petzvals Willen unter dem Namen Orthoskop bekannt wurde, bisher meines Wissens von niemand hat erklärt werden können; ich stehe jedenfalls bei ihr vor einem Rätsel, denn weder die sphärische Korrektion, noch die Erfüllung der Sinusbedingung, noch der Zustand schiefer Bündel steht irgendwie auf der Höhe der abgeänderten Bildnislinse, die in allen diesen Punkten — auch der Erfüllung der Sinusbedingung, was man lange übersehen zu haben scheint — mustergültig ist.

Diese so völlig ohne Vorbild und ganz nach den Lehren der Analysis entwickelte Verbindung übergab, wie es selbstverständlich war, Petzval [123] dem jungen Voigtländer zur Ausführung, und es ist wohl möglich, daß auch er es war, der ihn für das eigenartige Aufnahmegerät — die späteren Balgenkammern bestanden ja noch nicht — auf den Vorschlag von Fr. v. Kobell-C. A. Steinheil hinwies. Die Münchener Akademieschriften waren in Wien sicherlich leicht zugänglich, und auf den Aufsatz über das photographische Verfahren deutscher Gelehrter kann Voigtländer, wenn nicht von Petzval, dann sogar von verschiedenen anderen Seiten aufmerksam gemacht worden sein. Die kegelförmige Anlage der bereits 1840 vorgeführten Kammer wird von dem Leiter des Voigtländerschen Hauses stammen. Den Zahn und Trieb an der Fassung hat die Petzvalsche Bildnislinse noch jahrzehntelang mit sich herumgeschleppt, als sie längst nur noch an Balgenkammern verwandt wurde, und die Einstellung durch Verschiebung der Aufnahmelinse ihren höchstens noch durch die Einstellverschiedenheit zwischen dem sichtbaren und dem chemischen Bilde gerechtfertigten Zweck verloren hatte. Daß man diese Einrichtung munter weiter beibehielt, liefert einen Beweis dafür, daß sich nicht nur veraltete Gesetze und Rechte weiter forterben.

Voigtländer hat an den drei Teilen der Aufnahmelinsen und einer Versuchskammer mit einem solchen Eifer gearbeitet, daß alles im Herbst 1840 zur Probe bereit war. Wir haben über diese wichtige Erprobung verschiedene Berichte, denen wir uns nunmehr zuwenden müssen, sie stammen allerdings aus dem Jahre 1858, doch wird man ihre Glaubwürdigkeit kaum in Frage ziehen wollen. In dem noch weiter unten zu besprechenden bedauerlichen Orthoskopstreit äußerte sich Voigtländer (109 Z 13—15) dahin, daß gleich bei den ersten Versuchen, wie schon oben bemerkt, die Linsen des sammelnden Hintergliedes der Bildnislinse nach den Werkstattversuchen getrennt werden mußten, um die Bildgüte zu erhöhen. Das Ergebnis (29 Z 21/2) be-

friedigte Petzval indessen nicht, und man legte sie beiseite. Erst die Prüfung an der Aufnahmekammer, die auf Voigtländers Anregung von dem fähigen Liebhaberphotographen A. Martin — er starb 1871 als Bibliothekskustos am polytechnischen Institut zu Wien — gemacht wurde, lieferte erstaunliche Ergebnisse und ließ Petzval der Herausgabe der Bildnislinse zustimmen. Von den Endergebnissen der Prüfung (95) sei hervorgehoben, daß eine merkliche Einstellverschiedenheit bei der Bildnislinse festgestellt wurde, und daß man an der Landschaftslinse hervorhob, sie habe eine zu geringe Abbildungstiefe und gäbe von fernen Dingen (Häusern) zu kleine Bilder. Man war also damals an größere Aufnahmebrennweiten für Landschaftsaufnahmen gewöhnt.

Das gewaltige Aufsehen, das die schöne Erfindung machte, ist schon an anderer leicht zugänglicher Stelle geschildert worden, und hier sei nur der Tatsache gedacht, daß der Hof ebenfalls an der großen Leistung Anteil nahm und dem erfolgreichen Mathematiker zehn im Rechnen geübte Artilleristen auf unbestimmte Zeit zur Verfügung stellte. Der Niederösterreichische Gewerbeverein verlieh den Geschäftsinhabern in seiner silbernen Schaumünze eine ehrenvolle Auszeichnung. Wenn ferner nach Hrn. H. Hartings Akten im Januar 1841 bereits 70 vollständige Aufnahmekammern bei Voigtländer bestellt worden waren, so bekommt man einen guten Begriff von der Lebhaftigkeit des gleich mit der Veröffentlichung einsetzenden Geschäftsbetriebes.

Wie stark dieser Erfolg auf den jungen Meister wirkte, kann man vielleicht aus dem Bildnis sehen, wo er sich neben der ersten kegelförmigen Aufnahmekammer sitzend darstellen ließ. Ist das Bild wirklich, wie Hr. H. Harting wohl nach der Familienüberlieferung mitteilt, Ende 1840 gemalt worden, so war Wilhelm Friedrich eben 28 Jahre geworden, und er war nur wenig älter, wenn man die Anfertigung des Bildes nach 1841 setzt. Aus späterer Zeit wird es nicht stammen, da die metallenen, kegelförmigen Kammern wohl schon 1842 verschwanden.

Die ersten Bildnislinsen waren Anderthalbzöller oder hatten genauer Durchmesser von $18''' = 39{,}5$ mm am Vorder- und von $19''' = 41{,}7$ mm am Hinterglied. Wie schon bemerkt, möchte ich glauben, daß das vorliegende Voigtländersche Preisblatt 1840/1 herausgekommen ist. Beachtet man den Wortlaut, so findet man, daß Voigtländer die beiden Einzelglieder, die äußerlich Fernrohrobjektiven ähnlich sahen und im innern Dienst der Werkstätte wohl kurz in dieser Weise bezeichnet worden sein werden, auch so in seine Beschreibung auf dem Preisblatt einführte. Es ist denkbar, daß danach im Laufe der Zeit die Verbindung dieser beiden Objektive abgekürzt als „Objektiv“[1]) bezeichnet wurde, und daß sich dieser Ausdruck in allen Kultursprachen durchsetzte. Ist diese Annahme gerechtfertigt, so würde allerdings W. Fr. Voigtländer mittelbar einen Einfluß weitester Ausdehnung auf die photographische Fachsprache genommen haben. Ich kann hier bemerken, daß um die gleiche Zeit Ch. Chevalier den mit Überlegung und viel zweckmäßiger gebildeten Namen „Photographe“ für die Aufnahmelinse vorschlug, ohne daß ihm die Einführung gelang.

---

[1]) Tatsächlich hat A. v. Ettingshausen bereits in seinem wahrscheinlich Ende 1840 gehaltenen Vortrage vor dem niederösterreichischen Gewerbeverein den Ausdruck „eines aus zwei achromatischen Linsen gebildeten Objectivs für die Camera obscura“ gebraucht. Auch J. Berres hat diese Bezeichnung in einem ebenfalls um den Ausgang des Jahres 1840 erstatteten Bericht verwandt. Um Mißverständnisse zu vermeiden, sei aber hervorgehoben, daß in Frankreich die alte Einzellinse an der Kammer gelegentlich schon 1839 als Objectif bezeichnet wurde. Die Anwendung dieses nicht eben glücklich gebildeten Ausdrucks für die Doppellinse fällt aber wohl den Wiener Fachleuten zur Last. Die Kenntnis des Wortlauts der alten Wiener Berichte verdanke ich der immer gleich liebenswürdigen Hilfsbereitschaft des Herrn Generalarzts A. Seitz in München.

Die Preisberechnung für die Aufnahmelinse führt, wenn man sich an die Preise der Fernrohrobjektive auf S. 445 hält — es sind dort die gleichen Öffnungen vorhanden — folgende Zahlen:

Das kleinere Vorderglied	31.— G.-Mk.		
Das größere Vorderglied	36.1 „		
Optische Teile zusammen		67,1 G.-Mk.	78%
Die Fassung mit Zahn und Trieb		18,9 „	22%
Die ganze Aufnahmelinse		86,0 G.-Mk.	

Später — 1852 — finden wir die gleiche Linsenfolge sogar mit 34 Thlr. = 102 G.-Mk. angeboten, was uns heute eine sehr hohe Wertschätzung der Voigtländerschen Arbeit erkennen läßt; denn er konnte trotz dem gewaltigen, ihn immer unterbietenden Wettbewerbe wagen, seine Preise sogar noch heraufzusetzen.

Man wird verstehen, daß sich Voigtländer auch um den von der Pariser Gesellschaft zur Beförderung des Gewerbfleißes ausgelobten Preis für einen Schnellarbeiter bewarb, obwohl der Abschlußtag für die Meldungen mit Silvester 1840 verstrichen war. Seine erste Kammer lief um die Mitte März 1841 in Paris ein, brachte ihm indessen im nächsten Jahre nur eine silberne Schaumünze für die Ausführung der von Petzval berechneten Formen; man kann aber, da die Bewertungsbedingungen unbekannt sind, heute nicht mehr entscheiden, ob die verspätete Einsendung des Wiener Geräts nicht etwa eine solche Zurücksetzung hinter den rechtzeitig vorgelegten Linsenfolgen herbeiführen mußte.

Noch im Jahre 1842, wahrscheinlich im Oktober, hören wir durch J. Reindl, daß Voigtländer eine neue Einrichtung, d. h. eine vergrößerte Bildnislinse, den Dreizöller, und eine neue Kammer, auf den Markt gebracht habe. Die Linsenfolge war einfach durch Verdopplung der Maßzahlen der alten entstanden, während die Kammer aus Holz statt der runden viereckige Platten zuließ. Die Einstellung lag noch immer in Zahn und Trieb der Linsenfassung; als Preis wurde damals für die Bildnislinse 165 fl. = 316 S.-Mk. angegeben, was mit späteren Angaben (1857) von 95 Thlr. = 317 S.-Mk. ganz ausgezeichnet übereinstimmt. Die Kammer war aus Mahagoniholz, und ihr eigentlicher Kasten hatte in Länge, Breite und Höhe die Ausmaße von $26 : 19^1/_2 : 22^1/_2$ cm.

Wendet man sich zu dem persönlichen Verhältnis zwischen den beiden Männern, so stammen zwar die Angaben nur allein von Voigtländer, der sie in seiner Anklageschrift mitteilte, doch sehe ich durchaus keinen Grund, ihnen zu mißtrauen. Danach hat er (79 γ) zunächst Bedenken getragen, die Erlaubnis Petzvals anzunehmen, mit der Bildnislinse und Kammer auf den Markt hinauszutreten, sondern hat eine geschäftliche Verbindung vorgeschlagen. Petzval, der offenbar die Tragweite seiner Erfindung nicht richtig beurteilte und die Größe seines Verzichts unterschätzte, hat ihm ausdrücklich die freie Verfügung überlassen. Warum mindestens der ältere Voigtländer mit seiner Kenntnis des englischen Patentwesens nicht zu Schutzmaßregeln riet, ist heute nicht mehr auszumachen; wahrscheinlich unterschätzte auch er die geschäftliche Bedeutung der neuen Linsenfolge. Als sich nun der wirtschaftliche Wert dieser Leistung übersehen ließ und Petzval die Unzweckmäßigkeit eines derartigen Geschenks nicht nur erkannte, sondern — verzeihlicherweise — auch bedauerte, benutzte Voigtländer diese Stimmungsänderung nicht etwa nunmehr zu dem Abschluß einer engeren Verbindung, sondern übersandte ihm einen Betrag von 2000 fl. [= 3400 G.-Mk.], weitere ähnliche Gaben in Aussicht stellend, wozu es indessen nicht gekommen ist. Solch

eine Handlungsweise ist um so unerklärlicher, als zu jener Zeit das Zusammenarbeiten gut vonstatten ging (29 β) und nacheinander noch eine andere schnell wirkende Aufnahmelinse, ein Bildwerfer für durchfallendes Licht und die Theatergläser mit dreifachen Objektiven und dreifachen Okularen von Petzval in Arbeit gegeben worden waren.

Der Schnellarbeiter ist von Hrn. H. Harting[1]) wieder aufgefunden worden. Er hatte nach dessen Angabe bei dem bemerkenswerten Öffnungsverhältnis von 1 : 2,3 zwar kleine sphärische Zwischenfehler, dagegen schwere Abweichungen von der Sinusbedingung. Der Astigmatismus schiefer Bündel ist nicht gehoben und das brauchbare Feld nur klein. Trotz den mit bemerkenswerter Geduld fortgesetzten Bemühungen des Voigtländerschen Hauses haben sich diese eigentlichen Schnellarbeiter mit ihrer Abweichung vom Aplanatismus auf dem Markte nicht gehalten, da — mit E. Abbe 1879 und vom Mikroskopobjektiv zu reden — „sobald erhebliche Öffnungswinkel in Verwendung kommen, der praktische Gebrauch alle Constructionen von selbst als unbrauchbar verwerfen muß, welche die von der Theorie geforderte Eigenschaft nicht wenigstens in annähernder Vollkommenheit erlangt haben". — Die Feldstecher habe ich in meinem Aufsatz in der Photographischen Korrespondenz vom Jahre 1906 beschrieben. Wie Hr. H. Harting jetzt angegeben hat, scheint namentlich bei der Ausführung der Okulare eine von Voigtländer stammende Anlage durchgeführt worden zu sein. Trotz großen Anfangserfolgen haben sich diese Feldstecher nicht dauernd auf dem Markt gehalten.

Gegen das Ende des Jahres 1842 mag aber das Verhältnis der beiden Fachmänner einen Riß bekommen haben, der sich bald mehr und mehr vertiefte. Voigtländer erhob nämlich (12 γ) den Anspruch, Petzval möge seine Beschaffung der Brech- und Zerstreuungszahlen als eine wissenschaftliche Mitarbeit ansehen und sie in seinem [vom Januar 1843 unterzeichneten] Bericht erwähnen. Daß diese Erwartung nicht erfüllt wurde, scheint ihn zunächst recht verletzt zu haben (83 β) und trotz vorläufiger Beilegung kam es (37 γ) bald nachher wohl wegen einer Klatschgeschichte sogar zu einer Beleidigungsklage, in deren Verlauf Petzval bestritt, gegen den Kläger die ihm zugeschriebenen verletzenden Ausdrücke gebraucht zu haben. Damit war die Verbindung dieser beiden Männer gelöst; es müßte denn sein, daß Voigtländers Anerbieten (81 β) einer in Raten zu leistenden Zahlung von 50000 fl. [= 85000 G.-Mk.] für ein von Petzval zu lieferndes, wirklich leistungsfähiges Mikroskop in die Zeit nach dem Bruche fiele, was mir aus der angeführten Stelle nicht mit Sicherheit hervorgeht, da ich die Zeitbestimmung „später" nicht festzulegen vermag.

Wir müssen den nunmehr meist getrennten Wegen der beiden Männer nach einander folgen und beschäftigen uns zunächst mit Petzval.

Aller Wahrscheinlichkeit nach erschien sein „Bericht über die Ergebnisse einiger dioptrischer Untersuchungen" unmittelbar nach dem Bruche mit Voigtländer. Die Ableitung der 5 Fehler dritter Ordnung ist zweifellos eine sehr bemerkenswerte theoretische Leistung. Daß ihm bei der Niederlegung des heute unter Petzval-Coddingtons Namen bekannten Gesetzes H. Coddington um 14 Jahre zuvorgekommen war, ist ihm bei seiner Unkenntnis des Englischen wohl überhaupt nicht bewußt geworden. Er ist später von L. Seidel und H. Zincke gen. Sommer wegen der Gültigkeit seiner vereinfachten Schlußziehung bei einem Beweise dafür angegriffen

---

[1]) Über wieder aufgefundene Photoobjektive von J. Petzval und H. Zincke-Sommer. *Die photogr. Ind. 1924, S. 1030/2 (17.XI.)*, aber auch [*122*].

worden, ohne daß er darauf geantwortet hätte; doch ist noch 1924 Hr. H. Boegehold. unter Berufung auf eine Conradysche Ableitung für Petzvals Kenntnis des vollständigen Beweises eingetreten. Auch A. Schwarzschild hat ihm 1905 vorgeworfen, er habe die Anzahl der unabhängigen Fehlerglieder 5. Grades um 3 zu hoch bestimmt, worüber ein Streit noch bis 1921 und länger geführt worden ist. Da Petzvals Papiere wohl endgültig verloren sind, so wird man die Einzelheiten schwerlich mehr eingehend nachprüfen können. Immerhin sollte die glänzende Leistung schon seiner Bildnislinse allein genügen, Petzval einen hervorragenden Platz unter den auf dem Felde der Optik tätigen Analytikern zu wahren.

Später hat er sich mit Beleuchtungsfragen abgegeben und seine Kenntnis namentlich für Bildwerfer und — noch gegen Ende der 60er Jahre — für Scheinwerfer verwandt, doch sind ihm hier keine umwälzenden Erfolge gelungen. Immerhin mag man H. Schröders uneingeschränkte Anerkennung für die Anlage seiner Beleuchtungseinrichtung zu seinen Gunsten anführen.

Wenden wir uns nun zu seinen Beziehungen zu Wiener Technikern, so gibt Voigtländer (85 ε) einige Nachrichten, wonach Petzval gleich nach der Trennung eine Verbindung mit einem Verfertiger physikalischer Instrumente suchte, die sich indes bald gelöst haben. Er trat dann (1844) in eine Geschäftsbeziehung zu dem Wiener Optiker F. X. Waibl († Dez. 1863), die aber, wie an der gleichen Stelle zu lesen ist, durch schiedsrichterliches Erkenntnis getrennt wurde. Da Petzval damals an der Verbesserung des Bildwerfers mit durchfallendem Licht arbeitete und 1847 über ein von diesem Optiker gebautes Gerät berichtete, so mag er in diesem Jahre noch mit ihm verbunden gewesen sein.

Einige Jahre lang scheint er sich alsdann von allen Beziehungen zur ausführenden Technik ferngehalten zu haben, doch war er vor Mitte Juli 1854 von neuem mit einem Optiker in Verbindung, und zwar handelte es sich um den früher [vor 1849?] bei Voigtländer (29 Z. 5 v. u.) beschäftigten Fachmann C. Dietzler. Die große Neuerung, die er mit diesem Helfer durchsetzte, bestand in der Einführung der als photographische Achromasie bezeichneten Farbenzusammenlegung. Er benutzte in einer sehr geschickten Weise die größere Farbenzerstreuung des „schweren" Kronglases (nach der Schottschen Glasliste ist darunter soft crown mit $n_D = 1{,}515$; $\nu = 56{,}6$ zu verstehen, während er früher „leichtes" Kronglas: hard crown mit $n_D = 1{,}518$; $\nu = 60{,}2$ verwandt hatte), um für seine Bildnislinse die Einstellverschiedenheit zu heben, ohne in der ausgezeichneten Strahlenvereinigung für eine mittlere Farbe eine irgend merkliche Änderung eintreten zu lassen. Wohl kann man glauben, daß dieses sinnreiche Aushilfsmittel — man könnte es geradezu als ein Muster zur Begründung der seit 1872 von E. Abbe betonten Notwendigkeit einer reicheren Auswahl in den Glasarten verwenden — ihm selber als recht wichtig vorgekommen ist. Er entschloß sich — jedenfalls im Hinblick auf den ihm nahestehenden Betrieb —, es geheim zu halten und brachte sich dadurch bei seinem Streit mit Voigtländer in eine sehr unangenehme Lage. Gerade weil er die alten Krümmungshalbmesser unverändert beibehielt, konnte er den Angriffen seines Gegners, der jede Neuerung frischweg bestritt, nicht offen entgegentreten, und schließlich wurde das geistvoll erdachte Hilfsmittel doch schon 1859 an die Öffentlichkeit gebracht, ohne daß es damals seinem wahren Urheber zugeschrieben worden wäre. Wir werden darauf noch zurückzukommen haben.

Im Jahre 1856 hat er dann die alte Doppellinse für Landschaften (I + II) in der gleichen Weise (mit veränderten Glasarten) herausgebracht und anfangs in jener auf wertvolle Neuerungen an der Aufnahmelinse besonders gespannten und schon

urteilsfähigeren Zeit einen Beifall gefunden, der der alten und nicht besonders glücklich geplanten Anlage nicht entsprach, und sie geriet denn auch bald in völlige Vergessenheit. Sie hat leider zu dem gar nicht genug zu bedauernden Orthoskopstreit zwischen Petzval und Voigtländer Anlaß gegeben, und gerade darauf wird weiter unten noch einzugehen sein.

Im Zusammenhange mit seinen Arbeiten an Beleuchtungsfragen hat er sich 1854 auch mit einem Scheinwerfer abgegeben, der die 2,7 km entfernten Ziele der Mörserbatterien beleuchten sollte, doch hören wir von seinen Ergebnissen nichts. Es ist möglich, daß diese Arbeiten 1869, wie Erményi angibt, wieder aufgenommen wurden, wobei man die Entfernung auf 3,8 km steigerte, und ein Ebnerscher Aufsatz aus dieser Zeit könnte damit in Verbindung gebracht werden, aber auch hier ist von einem deutlichen Erfolge nichts zu berichten.

An den Schluß seiner Arbeiten muß sein „verkitteter Dialyt“ gestellt werden. Er mag in die Mitte der 60er Jahre gehören, und so wahrscheinlich mir Petzvals Urheberschaft dafür ist, so kann sie doch nicht bewiesen werden. Gibt man sie zu, so ist der Fortschritt in der Annäherung an eine Streckung des punktmäßigen Bildfeldes nicht zu verkennen, und auch die Sinusbedingung ist gut erfüllt; die Verzeichnung allein läßt noch zu wünschen übrig. Die Zwischenfehler im geraden Bündel sind allerdings angewachsen, bleiben aber noch merklich unter der bei vielen späteren Anlagen unbedenklich zugelassenen Größe. Auch diese Anlage ist nur durch Erményis Nachforschungen bekannt geworden.

Seine Beziehungen zu C. Dietzler blieben zunächst angenehm; dieser wird auch gute Arbeit geliefert haben, denn er erschien 1862 auf der 2. Londoner Weltausstellung mit Voigtländer unter den mit einer Schaumünze ausgezeichneten Ausstellern. Aus dem gleichen Jahre ist in der Kreutzerschen Zeitschrift ein Preisverzeichnis über Dietzlersche Linsen nach Petzval enthalten. In dem Verzeichnis für die Pariser Weltausstellung vom Jahre 1867 habe ich Dietzlers Namen nicht mehr gefunden: er starb in drückender Armut im Oktober 1872.

Danach hat sich Petzval von einer Beziehung zu ausführenden Optikern ferngehalten, und es ist wohl angezeigt, hier einige Worte über seine Stellung als Berater von Handwerksmeistern anzufügen, soweit man sie nachträglich erschließen kann.

Sehr bequem ist der Verkehr mit ihm wohl nicht gewesen, und er ist nur mit Dietzler längere Zeit (von 1854 bis nach 1862) in geschäftlicher Beziehung geblieben. Daß von diesen Optikern Voigtländer der tüchtigste gewesen ist, mag man glauben, freilich war er auch am meisten begünstigt, da ihm Petzval seine Mitarbeit so gut wie ohne Entgelt leistete und die unvergleichliche Gelegenheit, in der ersten Zeit der Bildnisphotographie mit der besten Linse aufzutreten, einem jeden Handwerksmeister das Vorwärtskommen erleichtert haben würde. Petzval selber gehörte insofern zu den unglücklichen Erfindern, als er mit seiner ersten Leistung eine Höhe erreichte, hinter der er später zurückbleiben mußte. Dieser Umstand erhielt für Außenstehende noch eine Art von Bestätigung durch seine Neigung, von den noch unerprobten Ergebnissen seiner Forschung sehr früh und in ganz hohen Tönen zu sprechen, hinter denen häufig der tatsächliche Erfolg zurückblieb. Völlig aus der Luft gegriffen sind Voigtländers Andeutungen (81β, 89α) dieser Vorschußlorbeeren wohl nicht, und Petzvals ganz besonders scharfe Zunge wird ihm sehr viele Feinde auch auf seinem technischen Gebiete gemacht haben.

Gewiß hat er in der rührigen und gut geleiteten Wiener photographischen Gesellschaft auch unmittelbar nach dem häßlichen Streite mit Voigtländer seine

Verehrer gehabt und behalten, so daß er 1877 in seinem 70. Lebensjahre zum Ehrenmitglied dieser Gesellschaft ernannt wurde. Woran der Plan scheiterte, ihm von der photographierenden Welt als dem Erfinder der Bildnislinse ein Ehrengeschenk stiften zu lassen, ist nicht mehr auszumachen, und der große Erfinder ist wohl verbittert gestorben. Was wir von Einzelheiten seines Lebens aus seinem eigenen Munde kennen, verdanken wir den unermüdlichen Bemühungen Herrn J. M. Eders.

Einen versöhnenden Schein wirft auf sein Grab das rastlose Bestreben L. Erményis, durch Sammlung seiner unbekannt gebliebenen Schriften und Auffindung seiner optischen Arbeiten Petzvals Namen ein Denkmal zu setzen, das dauernder als Erz und ragender als eine Bildsäule sei. Er hat diese Arbeit auf sich genommen, weil er an Petzval als einen Angehörigen des ungarischen Volkes besonderen Anspruch zu haben glaubte. Sogar wenn man diese Meinung nicht teilt — und auch Petzval selbst hat sich Herrn J. M. Eder gegenüber als deutschen Blutes bezeichnet —, wird man einem so selbstlosen und durch die optische Anregung auch erfolgreichen Streben eine herzliche Anerkennung nicht versagen: so fällt auf Petzvals Grab ein voller Strahl von Bewunderung für seine optischen Ziele und Leistungen, wie er ihm im Leben nach seinem Jugenderfolge nicht wieder geworden ist. (Fortsetzung folgt).

Referate.

Das Instrumentenwesen auf der Geodätischen Woche in Köln.

Von Dr. H. Marchand in Cassel.

Anläßlich der Jahrtausend-Ausstellung fand in Köln a. Rh. vom 2. bis 9. August 1925 eine „Geodätische Woche" statt, auf der sich über 1000 Fachkundige des In- und Auslandes und der verschiedensten Zweige des Vermessungswesens über und unter Tage zu gemeinsamer Beratung und persönlicher Fühlungnahme zusammenfanden. Das sehr reichhaltige Programm an Vorträgen und Besichtigungen enthielt soviel Interessantes und Neues auch über wirtschaftliche, rechtliche und Steuerfragen, daß hier nur auf den instrumentellen Teil eingegangen werden kann.

Am Dienstag, den 4. August sprach Herr Prof. Dr. Eggert (Landwirtschaftliche Hochschule, Berlin) über „Neues aus der Instrumentenkunde" und gab an Hand von instruktiven, schematischen Strichzeichnungen einen klaren Überblick über die neue Fortbildung der rein geodätischen Instrumente bis zum heutigen Stande. Er ging aus von der Entwicklung des Winkelprismas, dem neuerdings, wie übrigens schon von Vogler vorgeschlagen, ein Winkel von 135° zugrunde gelegt wird, sodaß an beiden Flächen Totalreflektion stattfindet. Das Fernrohr hat eine zweifache Fortbildung erhalten, zunächst als verkürztes Fernrohr[1]) mit Doppelobjektiv (zwei Linsen in festem Abstand voneinander, Teleobjektiv) und zweitens die Zeisssche Konstruktion[2]) mit verschiebbarer Zwischenlinse, die trotz der variablen äquivalenten Brennweite auch für Fadendistanzmesser[3]) geeignet ist. Von den Ablesevorrichtungen an Kreisen wird der gewöhnliche Nonius infolge seiner großen Unempfindlichkeit für einfache Messungen nach wie vor zu empfehlen sein; für Tachymetrie ist besonders das Strichmikroskop wegen der Schnelligkeit der Ablesung geeignet. Zur Steigerung der Genauigkeit dienen wie bisher Schraubenmikroskope (von Hildebrand-Freiberg neuerdings auch bei 8 cm Horizontalkreisen angewandt), Hensoldtsche Skalenmikroskope und das Fennelsche Nonienmikroskop. Ein wirklich neues Prinzip bedeutet erst die von Obering. Wild angegebene exzentrizitäts-

---

[1]) R. Steinheil, Über ein neues abgekürztes Fernrohr, *diese Zeitschrift* **12.** *S. 374. 418. 1892.* Hier ist auch schon (S. 377) die Wild-Zeisssche Verschiebung der negativen Zwischenlinse angedeutet.

[2]) H. Wild, Neue Nivelliere. *Diese Zeitschr.* **29.** *S. 329. 1909.*

[3]) Dr. O. Eggert, Das Zeiss-Wildsche Fernrohr als Fadendistanzmesser, *Zeitschr. f. Vermess.* **42.** *S. 770. 1913.*

freie Ablesung[1]), bei der gleichzeitig an zwei gegenüberliegenden Kreisstellen die Summe der Abstände beider Nullstriche vom vorhergehenden Teilstrich abgelesen wird.

Übergehend zu ganzen Instrumenten besprach der Vortragende zunächst die Vorkehrungen, die bei Nivellier-Instrumenten getroffen sind, um von Libellenfehlern freie Ablesungen zu erhalten. Während Breithaupt schon 1859, Fennel 1892 die Libelle umsetzbar einrichteten, hat Wild 1909 ein biaxiales Fernrohr mit umsetzbarer Zielachse konstruiert. Eine weitere Neuerung ist die Wildsche Libellenablesung[2]) mittels eines Prismensystems derart, daß bei einspielender Libelle beide Blasenenden koinzidieren. Für Feinnivellements hat Wild die Einstellung der Ziellinie auf Feldmitte bei einspielender Libelle durch eine drehbare Glasplatte angegeben[3]). Auch Fennel-Cassel hat 1913 ein Nivellier mit biaxialem Fernrohr aber gewöhnlicher Libellenablesung geschaffen.

Während für einfache Nivellements gewöhnliche in Zentimeter geteilte Nivellierlatten ausreichen, ist für feinere Messungen neuerdings nach amerikanischem Vorbild das Prinzip der Transversalenteilung z. B. von Hänel[4]) und Dieperink-Wageningen[5]) vorgeschlagen. Man kann dann, allerdings auf Kosten der Übersichtlichkeit, Millimeter ablesen und $^1/_{10}$ mm schätzen. Statt hölzerner Latten sind von Zeiss[6]) Invarlatten mit Strichteilung eingeführt worden, die von Witterungseinflüssen unabhängig sind, aber infolge der feinen Strichteilung nur bei kurzen Zielweiten bis 50 m Verwendung finden können.

Von den Theodoliten, die im wesentlichen ihre alte Form behalten haben, steht der neue Theodolit Wild-Zeiss[7]) im Vordergrund des Interesses, der mittels eines komplizierten Prismen- und Linsensystems die gleichzeitige Ablesung beider Ablesestellen der beiden Glaskreise in einem einzigen Okular unter Anwendung eines optischen Mikrometers ermöglicht. Erstaunlich ist, daß bei den kleinen Dimensionen die Genauigkeit von 2″ der Triangulation III. Ordnung erreicht wird. Ein etwas größeres Instument für Triangulationen II. Ordnung wird von Wild, Heerbrugg in der Schweiz, selbst gebaut. Eine weitere interessante Neukonstruktion ist der Kataster-Theodolit und Präzisions-Tachymeter von Breithaupt-Cassel[8]), der für Tachymetrie in einfachster Weise die gleichzeitige Ablesung je einer Ablesestelle beider Kreise ermöglicht, während für genauere Horizontalwinkelmessungen ein zweites Skalenmikroskop vorhanden ist. Das Instrument trägt ferner eine neue optische Ablotevorrichtung am Fernrohr, die auch für Landmesser bei genauen Polygonzügen wichtig ist, besonders in Verbindung mit Zwangszentrierung. Die von Dr. Marchand angegebene Kreuzschlittenverschiebung der Firma F. W. Breithaupt & Sohn, Cassel[8]) verhindert das beim optischen Abloten sonst so störende Ausschlagen der Libellen beim Zentrieren.

Die beiden letztgenannten Instrumente mit gemeinsamer Ablesung beider Kreise verdienen auch als Kreis-Tachymeter hervorgehoben zu werden, da der anallaktische Punkt beider Fernrohre in die Stehachse verlegt ist. Unter den Tachymetern mit Reduktionserleichterung erfreuen sich die Schiebetachymeter von Wagner-Fennel (schiefe Lattenstellung) und Puller-Breithaupt (senkrechte Lattenstellung) noch großer Beliebtheit. Daneben sind seit 20 Jahren mehrfach selbstreduzierende Tachymeter gebaut worden, bei denen mittels eines veränderlichen Fadenpaares

---

[1]) W. Schermerhorn, Vergleichung des neuen Zeiss-Theodolits mit heutigen Konstruktionen *Diese Zeitschr.* ***45.*** *S. 16. 1925.*

[2]) H. Wild, Neue Nivelliere. *Diese Zeitschr.* ***29.*** *S. 329. 1909.*

[3]) Gurlitt, Das Präzisionsnivellier von Carl Zeiss in Jena. *Zeitschr. f. Vermess.* ***43.*** *S. 504. 1914.*

[4]) Hänel, Neue Nivellierlattenteilung mit schrägen, unterteilten Feldern. *Allgem. Vermessungs-Nachr.* ***35.*** *S. 154. 1923.*

[5]) J. W. Dieperink, Eine neue Skalateilung. *Diese Zeitschr.* ***44.*** *S. 381. 1924.*

[6]) Schermerhorn, Genauigkeitsbestimmung von Präzisions-Nivellier-Latten der Firma Carl Zeiss in Jena. *Zeitschr. f. Vermess.* ***53.*** *S. 251. 1924.*

[7]) W. Schermerhorn, Vergleichung des neuen Zeiss-Theodolits mit heutigen Konstruktionen. *Diese Zeitschr.* ***45.*** *S. 16. 1925.*

[8]) G. Breithaupt und H. Marchand, Ein neuer Katastertheodolit und Präzisions-Tachymeter. *Diese Zeitschr.* ***45.*** *S. 303. 1925.*

der Längenunterschied und eines zweiten Fadenpaares der Höhenunterschied ermittelt wird. Während bei der englischen Konstruktion von H. H. Jeffcott-Dublin[1]) die Veränderung der Fadenabstände mechanisch erfolgt, ist in Deutschland dieses Problem von Hammer-Fennel[2]) 1899 auf optischem Wege durch Abbildung eines Diagrammes an einer scharf geschliffenen Prismenkante in der Bildebene des Fernrohrokulares gelöst und bedeutet einen großen Fortschritt. Im letzten Jahre ist von Breithaupt-Cassel ein ähnliches Instrument, das sich nur wenig von einem gewöhnlichen Universal-Theodolit unterscheidet, nach demselben Prinzip gebaut worden, das vom Vortragenden zum ersten Male vorgeführt wurde. Es besitzt ein etwas anderes Gesichtsfeld und hat durch Verwendung eines durchschlagbaren verkürzten Fernrohres mit verschiebbarer Zwischenlinse infolge größerer Vielseitigkeit der Anwendung und größerer Bildhelligkeit der Diagrammübertragung gegenüber der älteren Hammer-Fennelschen Ausführung mancherlei Vorteile. Der Vortragende wies auf die große Wirtschaftlichkeit dieser selbstreduzierenden Tachymeter hin, die sich gerade in der heutigen Zeit sehr schnell bezahlt machen müßten. Der ebenfalls neue Autotachygraph von Heyde für Tachymetrie ohne Latte besitzt ein Doppelfernrohr, Koinzidenztelemeter (Abstand der Objektivprismen 70 cm) mit gemeinsamem Okular und Reduktion der schief gemessenen Entfernungen auf den Horizont. Er dient hauptsächlich zur Messung unzugänglichen Geländes und zur Ergänzung der Aerophotogrammetrie, wobei aber zu beachten ist, daß der mittlere Fehler mit dem Quadrat der Entfernung wächst, wie allgemein bei Koinzidenzentfernungsmessern. In der Schweiz ist man neuerdings bei der Katastermessung zur mittelbaren Entfernungsmessung mit horizontaler Latte und Einzelaufnahme nach Polarkoordinaten übergegangen. Bei dem Wildschen Entfernungsmesser[3]) wird der parallaktische Winkel durch zwei vor das Objektiv gesetzte achromatische Prismen erzeugt, derart, daß im Gesichtsfelde die Bilder beider Lattenenden übereinander erscheinen; durch Drehung zweier planparalleler Glasplatten können je zwei Striche der Teilung genau zur Koinzidenz gebracht werden. Auf einem ähnlichen Prinzip beruht ein neuer Bosshardtscher Tachymeter, bei dem jedoch erstens durch zwei dicht übereinander liegende Fernrohre mit gemeinsamem Okular eine vollständige Bildtrennung durchgeführt ist und zweitens durch gleichzeitige automatische Drehung beider Prismen um die Fernrohrachsen in entgegengesetztem Sinne eine Reduktion der schräg gemessenen Entfernung auf den Horizont stattfindet; die Drehung der Prismen muß proportional dem Kippwinkel des Fernrohres sein und erfolgt mittels eines gezähnten Höhenkreises und Triebes. Eine selbsttätige Reduktion der Höhenunterschiede findet nicht statt; es ist erst ein einziges Versuchsexemplar vorhanden, sodaß ein abschließendes Urteil noch nicht möglich ist.

Hinsichtlich der Planimeter ist ein neuer Ottscher Polarplanimeter zu erwähnen, bei dem es gleichgiltig ist, ob der Pol außerhalb oder innerhalb der Fläche liegt. Da die Arme genau gleich lang sind und die Meßrolle in der Nähe des Fahrstiftes liegt, schrumpft der Grundkreis zu einem Punkt zusammen. Der Planimeter kann durch Koppelung mit einem Polwagen außerdem leicht in einen Rollplanimeter verwandelt werden. Letztere Anordnung haben auch Dennert & Pape ausgeführt.

Zum Schlusse streifte der Vortragende noch die Rechen-Hilfsmittel. Von den Rechenmaschinen ist hervorzuheben die Multiplikationsrechenmaschine von Steiger-Egli (nur eine Kurbelumdrehung bei der Multiplikation) und „Mercedes-Euklid" von Hamann, die außerdem noch neue Gedanken der mechanischen Subtraktion und Division verwirklicht und in neuester Zeit noch mit elektrischem Antrieb versehen ist. Von den Rechenstäben sind solche mit Zweiteilung der Skala zur Erhöhung der Genauigkeit für den Landmesser besonders zu empfehlen. Der Vortragende schloß mit der freudigen Feststellung, daß die weitaus meisten Fortschritte deutschen Werkstätten zu verdanken sind.

Am nächsten Tage sprach Herr Prof. Dr. Samel (Landwirtschaftliche Hochschule Bonn-Poppelsdorf) über „Neues aus dem Gebiete der Photogrammetrie, namentlich der Luftphotogram-

---

[1]) Th. Cooke & Sons, *Direct-reading tacheometer. Engineering, S. 419. 1915.*

[2]) E. Hammer, Der Hammer-Fennel'sche Tachymeter-Theodolit. Stuttgart, 1901.

[3]) E. Hammer, Der neue Wildsche Theodolit mit Präzisionsdistanzmesser. *Diese Zeitschrift* ***45.*** *S. 353. 1925.*

metrie". Ausgehend von der Entwicklung der terrestrischen Photogrammetrie zeigte er zunächst in guten Lichtbildern die Phototheodolite von Koppe und Breithaupt, den Photogrammeter von Heyde, den neuen Hugershoff-Heydeschen Universal-Phototheodolit für winkelrechte Lage der Aufnahmerichtungen sowie die Spezialkammer für Küstenvermessungen derselben Firma, bei der mittels einer zweiten Hilfskammer der Meereshorizont mitphotographiert wird. Der Vortragende ging dann über zu der von Prof. Dr. Pulfrich ausgebildeten Stereophotogrammetrie, bei der das Identifizieren entsprechender Bildpunkte erleichtert und die Anwendung kürzerer Standlinien ermöglicht wird, erläuterte den Stereokomparator und den v. Orelschen Stereoautographen, der mit Hilfe einer scheinbar frei im Raume schwebenden, „wandernden Marke" das automatische Zeichnen der Situation und Schichtlinien ermöglicht. Eine neue stereophotogrammetrische Feldausrüstung von Zeiss mit drei Stativen, auswechselbaren Latten und Instrumenten mit Autokollimationseinrichtung ermöglicht das genaue Parallelstellen der optischen Achsen der Kammern, das Arbeiten mit verschwenkten Achsen und die optische Messung der Basislänge. Im flachen Gelände versagt die terrestrische Stereophotogrammetrie und wird dann erfolgreich, wenn auch mit geringerer Genauigkeit durch die Photogrammetrie aus der Luft ersetzt. Sie ist schon vor dem Kriege in unermüdlicher Arbeit von Thiele und Scheimpflug, die Panoramaapparate anwandten, sowie von Prof. Dr. Finsterwalder, der mit Schrägaufnahmen arbeitete, gepflegt worden. Den Anstoß zu ihrer schnellen Entwicklung gab erst der Weltkrieg; er brachte die Fliegerkammern von Heyde und Zeiss für Handgebrauch bei Schrägaufnahmen, sowie den Goerzschen Plattenreihenbildner zur automatischen Aneinanderreihung mehrerer Senkrechtaufnahmen. Zur Auswertung nach dem Pyramidenverfahren von Prof. Dr. Hugershoff dienten der Heydesche Komparator und die Bildmeßtheodoliten von Heyde und Zeiss, die jedoch nur ein Durchgangsstadium bezeichnen. Die modernen Verfahren wenden automatische Reduktion an. Hierher gehören: 1) Das Verfahren von Dr. Gasser (schon vor dem Kriege begonnen). Es arbeitet nur mit Senkrechtaufnahmen, die mittels Plattenreiher in winkelrechten Streifen aufgenommen werden und sich großenteils überdecken. Die Auswertung geschieht derart, daß durch gleichzeitige Projektion zweier sich überdeckender Bilder optisch ein Raummodell des Geländes erzeugt wird. Werden die beiden Strahlenbündel durch eine horizontale Ebene (vertikal verschiebbare Tellerebene) geschnitten, so erscheinen nur die Punkte gleicher Höhe scharf, sodaß es möglich ist, unmittelbar Schichtlinien zu zeichnen. Ein Blinkapparat dient zum Trennen der Bilder, auch kann durch Verwendung komplementärer Farben ein stereoskopischer Effekt erzielt werden. Die äußere Orientierung wird durch systematisches Probieren ermittelt. 2. Der Hugershoff-Heydesche Autokartograph[1]) der in der Hauptsache aus zwei Bildmeßtheodoliten besonderer Art besteht, die mit einem Auftrageapparat verbunden sind, ermöglicht die automatische Herstellung des Lage- und Schichtlinienplanes eines Geländeabschnittes aus zwei im Raume beliebig orientierten Flugzeugaufnahmen. Die Platten sind dabei in Bildträgern gelagert, die um ihre Vertikalachsen drehbar sind und werden durch ein stereoskopisch wirkendes Doppelfernrohr betrachtet, vor dessen Objektiven sich drehbare Eintrittsreflektoren befinden. Mit Hilfe von Horizontallinealen wird die Situation aufgetragen, während mittels Höhenschlitten die Meereshöhen abgelesen oder eingestellt werden können. 3. Beim Zeissschen Stereoplanigrah[2]), der ebenfalls für Aufnahmen beliebiger Richtung geeignet ist, werden an Stelle der Lineale Lichtstrahlen verwendet. Ein stereoskopisches Doppelfernrohr mit Meßmarkensystem, optischem Kardangelenk und optischem Zusatzsystem zum Scharfeinstellen dienen zur Betrachtung der bei der Auswertung nicht drehbaren Bildträger. Durch verschiedene Zahnräder können verschiedene Maßstäbe eingestellt werden. Eine Kammer mit Aufhängevorrichtung dient zur Aufnahme der erforderlichen Schräg- und Senkrechtaufnahmen aus dem Flugzeug. 4. Noch nicht zum Abschluß gelangt ist das Verfahren von Kapitän Boykow (Goerz). Es erfolgen gleichzeitig von zwei Flugzeugen aus Schräg- und Senkrechtaufnahmen durch zwei miteinander festverbundene Kammern (automatisch arbeitende Mehrfach-Plattenreihenbildner), die Aus-

---

[1]) H. Krebs, Der Hugershoff-Heydesche Autokartograph. *Zeitschr. f. Feinmech. 1922, Heft 4—9.*

[2]) O. v. Gruber, Der Stereoplanigraph der Firma Carl Zeiss, Jena, *Diese Zeitschr. **43**. S. 1. 1923.*

lösung erfolgt elektromagnetisch auf drahtlosem Wege, eine dritte Kammer dient zur mittelbaren Messung des Abstandes beider Flugzeuge durch Mitphotographieren eines Stahlbandes, das beim Fliegen durch einen Schleppkörper in horizontaler Lage straff gespannt wird. Das Verfahren soll eine Triangulation aus der Luft ermöglichen. Das Auswertungsinstrument (Triangulator) und der Kartierungsapparat sind noch nicht vollendet. Zum Schluß streifte der Vortragende noch einige ausländische Instrumente, die jedoch nicht auf deutscher Höhe stehen.

Anschließend teilte Herr Landmesser Melzer (Aerokartographisches Institut, Breslau) einiges über seine praktischen Erfahrungen bei Flugzeugaufnahmen mit; er legte in übersichtlicher Weise die verschiedenen Aufgaben der Luftbildmessung und seine günstigen Erfahrung mit dem Hugershoffschen Autokartographen dar, wobei er besonders auf das notwendige Zusammenarbeiten zwischen Flugzeugführer und Beobachter hinwies und eine aerogeodätische Ausbildung schon auf der Hochschule empfahl.

Der folgende Tag galt dem Vermessungswesen unter Tage. Der Vortrag des Herrn Markscheiders Löhr (Bergschule Bochum) behandelte „die Tätigkeit des Markscheiders im Dienste des Bergbaus" in ihrer ganzen Vielseitigkeit. Bei der Besprechung der Schürfungsmethoden wurden der Kreisel-Bohrloch-Neigungsmesser von Anschütz-Kiel, das magnetische Schürfen und die Schmidtsche Feldwage, das seismische Verfahren von Dr. Mintrop, die Drehwage, sowie das Schürfen mittels elektrischer Wellen kurz an Hand von Lichtbildern erläutert. Die Grundlage für den Abbau bilden die markscheiderischen Messungen. Da die Ermittlung der Orientierung unter Tage durch Doppellotanschlüsse mit zunehmender Teufe immer schwieriger wird und da die gesteigerte Verwendung elektrischer Starkströme die Magnetorientierung wesentlich einschränkt, gewinnt das Problem der Richtungsangabe durch den Anschützschen Kreiselkompaß[1]) immer mehr an Bedeutung, wenn auch die Schwierigkeiten noch nicht ganz überwunden sind. Die Verbindungsmessungen in Deutschland erfolgen in Hauptzügen allein mit dem Theodolit unter gleichzeitiger Anwendung von Zwangszentrierung, und auch bei Nachtragsmessungen wird das Hängezeug allmählich durch kleine Nachtragstheodolite verdrängt. Der Vortragende zeigte in Lichtbildern Quarzfadenmagnetometer von Fennel, das bekannte große und kleine Gerät von Hildebrand in älterer Ausführung auf Freiberger, Waldenburger (neuerdings auch über Tage bei Stadtvermessungen verwandt) und Künzelscher Aufstellung, sowie den Hängetheodolit. Schließlich moderne Instrumente von Breithaupt, Cassel, mit äußerst elegant durchgeführter elektrischer Beleuchtung der Ablesestellen, dem optischen Abloter auf dem Fernrohr und elektrischen Spitzensignalen. Als neuesten markscheiderischen Theodolit endlich das Breithauptsche Steilschachtgerät für Nachtragsmessungen[2]) mit gemeinsamer Ablesung beider Kreise in einem schwenkbaren Okular, das auch unter den schwierigsten örtlichen Verhältnissen eine bequeme Messung in beiden Kreislagen ohne Standwechsel des Beobachters gestattet.

Anschließend erläuterte Herr Dipl.-Ing. Kappes (Aachen) an Hand eines Modelles das Verfahren der zentrischen Schachtlotung mit Obenträgern und Unterträgern, sowie mit mehreren Gewichten nach Prof. Dr. Wilski.

Herr Vermessungsdirektor Schellens (Düsseldorf) behandelte eingehend die Brechungsgesetze und die neuen nach ihm benannten Prismen, die auch die Ausführung sehr steiler Visuren nach oben und unten ermöglichen.

Die besonders in kartographischer Hinsicht interessante geodätische Ausstellung brachte außer den schon in den Vorträgen behandelten neuen Instrumenten von Zeiss (Nivelliere und neuer Theodolit) Breithaupt (selbstreduzierender Tachymeter und Steilschachttheodolit) Dennert & Pape (Planimeter) in instrumenteller Hinsicht hauptsächlich Rechenmaschinen und Bürohilfsmittel, sowie einige historisch interessante Sammlungen der Regierung Minden und markscheiderischer Sonderinstrumente.

Präzisions-Manometer.

Von A. F. Zahn. *Journ. Frankl. Inst.* ***98.*** *S. 213. 1924.*

Die beschriebene Manometerform ist nichts grundsätzlich Neues, sondern die altbekannte Form des Mikromanometers nach Recknagel mit gebogenem Skalenrohr, um über das ganze Meß-

[1]) M. Schuler, Der Kreisel als Richtungsweiser. *Zeitschr. f. Geophysik* ***1.*** *S. 59. 1924.*

[2]) H. Marchand, Ein neuer Steilschachttheodolit für Nachtragsmessungen. *Diese Zeitschr.* ***45.*** *S. 120. 1925.*

bereich eine prozentual gleiche Meßgenauigkeit zu erhalten. Interessant ist nur die einfache gedrungene Ausführungsform. Ein Gußstück ist so bearbeitet, daß sein Vertikalschnitt in der bekannten Kurvenform der Traktrix oben begrenzt ist, der Kurve, in der das Skalenrohr geformt sein muß. Von der Unterfläche her ist das Stück ausgearbeitet, und durch eine Bodenplatte wieder verschlossen. So ist erreicht, daß der so entstandene Behälter gleichzeitig der weite Schenkel des Manometers ist. Unmittelbar auf der oberen Fläche liegt das Meßrohr eng auf. Ein durch eine seitliche Schraube bewegbarer Tauchkörper dient zur Einstellung des Flüssigkeitsspiegels auf den Nullpunkt der Skala. Die übrigen Einzelheiten bringen nichts Neues. *Block.*

Über ein Äquatoreal von neuer Form, „Tafel-Äquatoreal“ genannt und hauptsächlich für astrophysikalische Forschungen bestimmt.

Von H. Deslandres. *Comptes Rendus* ***177.*** *S. 721. 1923; L'astronomie* ***38.*** *S. 330. 1924.*

Die äquatoreale Montierung der Refraktoren ist hinsichtlich der Achsenstärke und anderer Abmessungen größtenteils nur darauf eingerichtet, am Ende der Deklinationsachse das Fernrohr selbst mit wenigem Zubehör, wie Positionskreis, Mikrometer oder Kamera, zu tragen; die in neuerer Zeit für astrophysikalische Zwecke in Frage kommenden Hilfsapparate, z. B. Spektrographen, sind aber oft so groß und schwer, daß die leicht ausgeführte Konstruktion der meisten französischen Äquatoreale hierfür nicht ausreicht und auch in der räumlichen Anordnung Schwierigkeiten bietet. Auch ist in manchen Fällen nicht das visuelle Fernrohr, sondern die astrophysikalische Apparatur die Hauptsache; sie erfordert eine stabilere Befestigung an den Fernrohrachsen, als solche durch Vermittlung des Tubus möglich ist. Aus diesem Grunde ist der Verfasser schon seit dem Jahre 1900 unablässig für den Gedanken eingetreten, nicht das Fernrohr, sondern eine sehr große Metallscheibe auf der Deklinationsachse, und zwar senkrecht zu ihr, zu montieren, und auf dieser Scheibe oder Tafel nun die erforderlichen Instrumente einschließlich des eigentlichen Fernrohrs anzubringen.

Zunächst wurde für die Beobachtung der totalen Sonnenfinsternisse von 1900 und 1905 eine kleine derartige, zum Transport geeignete Konstruktion angefertigt: auf einer Stundenachse in englischer Montierung ruht die Deklinationsachse, die ihrerseits an beiden Enden je eine hölzerne Platte trägt. Auf diesen Platten lassen sich die Apparate aller Art in zweckentsprechender Anordnung wie auf einem Laboratoriumstische anbringen.

Sodann wurden die beiden auf dem Observatorium zu Meudon vorhandenen Äquatoreale (das Eichenssche Äquatoreal und der Achtzöller) in ähnlicher Weise umgebaut. Das eine Ende der Deklinationsachse trägt eine rechtwinklige, durch Rippen versteifte, Metallplatte mit zwei Halteringen für das Fernrohr. An Stelle dieser Ringe wurde nun ein langer gußeiserner Hohlzylinder mit quadratischem Querschnitt des Außenmantels gesetzt; dieser trägt in seinem Innern das Fernrohr, und auf der oberen Fläche lassen sich auswechselbare Platten befestigen, so z. B. eine quadratische Platte aus Eichenholz von 112 cm Seitenlänge zur Aufnahme einer 80 cm langen Prismenkamera. Fünf solcher Platten von verschiedener Größe sind vorhanden, von denen sich jeweils zwei an den Äquatorealen in Benutzung und drei im Laboratorium befinden.

Die für die Folgezeit in Meudon geplanten astrophysikalischen Untersuchungen werden nun noch größere spektralanalytische Hilfsapparate erfordern, und für solche würden die Abmessungen der dort vorhandenen Instrumente nicht ausreichen. Die schon seit 1900 vom Verfasser hierfür beantragten Geldmittel sind im Jahre 1922 bewilligt worden und das neue, nach dem Muster der erwähnten Sonnenfinsternis-Instrumente konstruierte „Tafel-Äquatoreal“ befindet sich jetzt im Bau. Die auf einer 4 m langen Stundenachse von 40 cm Durchmesser ruhende 1 m lange Deklinationsachse trägt an ihrem kurzen Ende eine senkrecht aufgesetzte gußeiserne, 2000 kg schwere Kreisscheibe von $2\,^1/_4$ m Durchmesser, und am längeren Ende eine ebensolche, 1000 kg schwere Scheibe von 1 cm Durchmesser, die zugleich als Gegengewicht dient. Eine Biegung ist hierbei nicht wahrnehmbar, und trotz seiner sehr erheblichen Massen folgt das Instrument, dessen sämtliche Drehungen in Kugellagern laufen, leicht und sicher dem durch ein Uhrwerk regulierten Antriebsmotor.

Da die gegenwärtig herstellbaren Kugellager bis zu 40000 kg Tragfähigkeit haben, so glaubt der Verfasser sogar den Bau noch größerer Tafeläquatoreale empfehlen zu sollen und zwar besonders für die in neuerer Zeit geplanten Berg-Observatorien, die vorzugsweise astrophysikalischen Forschungen dienen werden. *M.*

Eine allgemeine Lösung der Aberrationsgleichungen I. O.

Von T. Smith. *Trans. Opt. Soc.* **25.** *S. 273. 1923/24.*

In einer früheren Abhandlung, *Trans. Opt. Soc.* **24.** *S. 168. 1922/23,* wurde eine allgemeine Gleichung aufgestellt, durch welche die Eigenschaften der einzelnen Bestandteile eines zusammengesetzten optischen Systems bestimmt wurden. Es wurden Beziehungen erhalten, welche die fundamentalen Aberrationskonstanten der Systemkomponenten miteinander in Verbindung brachten. Die Zahl der dazu notwendigen Gleichungen richtete sich nach der Zahl der Komponenten; einige davon konnten willkürlich gewählt werden, dann waren die anderen mit bestimmt. Obgleich eine Lösung in dieser Form unbedenklich ist, so hat sie doch mehr theoretischen als praktischen Wert. Vom Standpunkt der Praxis vorzuziehen sind Lösungen, welche aus Termen bestehen, in denen willkürliche Konstanten zusammen mit irgendeiner partikulären Lösung enthalten sind. Zu solchen Lösungen führen die Untersuchungen des Verf., nachdem er die allgemeine Gleichung in eine passendere Form gebracht hat. Die partikuläre Lösung selbst ist eine Summe, bestehend aus zwei Teilen, deren einer von dem geforderten Korrektionszustand des ganzen optischen Systems unabhängig ist, wogegen der andere nur solche Ausdrücke enthält, welche die speziellen Eigenschaften des Korrektionszustandes charakterisieren. Verf. gibt die allgemeinen Ausdrücke für Systeme von beliebig vielen Komponenten, beschränkt sich jedoch bei den partikulären Lösungen auf wenige, drei bis fünf, Komponenten. *Flügge.*

Beidäugiges Sehen und Raumsinn.

Von R. J. Trump. *Trans. Opt. Soc.* **25.** *S. 261. 1923/24.*

Verf. stellt experimentelle Untersuchungen an über das zweiäugige Sehen und will die Frage lösen, ob der Mensch einen besonderen Raumsinn hat oder nicht. Er benutzt bei seinen Experimenten besondere Stereo-Diagramme, in denen die Perspektive nicht in Einklang steht mit den parallaktischen Verschiebungen zwischen den von den beiden Augen entworfenen Bildern. Verf. kommt dabei zu dem Ergebnis, daß ein stereoskopischer Sinn, der sich auf diese parallaktischen Verschiebungen gründet, nicht existiert, sondern daß diese Differenzen bloß einen von mehreren Faktoren bilden, welche zusammen mit anderen mindestens ebenso wichtigen, vom Gehirn zur Gestaltung der Raumvorstellung herangezogen werden. Einer dieser Faktoren von allerwichtigster Bedeutung ist die Wiedererkennung eines perspektivischen Systems, der durch Ideenassoziation und Erfahrung in die Gewohnheit übergegangen ist. Demnach scheint es nicht einen „Mechanismus" zu geben, der ein stereoskopisches Sehen auf Grund der Erscheinung einer zweiäugigen Parallaxe ermöglicht, vielmehr ist die Raumwahrnehmung eine psychologische Funktion, die die Deutung aller Details, Ähnlichkeiten und Differenzierungen in den Bildern der beiden Augen von vorherigen Assoziationen und Erfahrungen abhängig macht. *Flügge.*

Ein Weitwinkel-Stereoskop und ein Weitwinkel-Sucher.

Von L. E. W. van Albada. *Trans. Opt. Soc.* **25.** *S. 249. 1923/24.*

In vorliegender Abhandlung wird ein neues Linsensystem für den Gebrauch bei Weitwinkel-Stereophotographie und -Stereoskopie beschrieben. Ein solches Linsensystem muß vor allem eine hervorragende Orthoskopie besitzen. Diese wird erhalten, wenn die aus dem System austretenden Strahlen auf ihrem Wege nach dem Auge parallel verlaufen zu den in das System einfallenden Strahlen. Dies ist der Fall bei einer planparallelen Glasplatte, obgleich nicht alle austretenden Strahlen von demselben Punkt herzukommen scheinen. Hierauf gründen sich die Untersuchungen des Verf., indem er nach einem vergrößernden System sucht, welches möglichste Orthoskopie zeigt. Dies wird folgendermaßen erreicht. Man denke sich eine planparallele Platte aufgeteilt durch eine sphärische Fläche und die beiden Teile auseinandergerückt. Sodann werde der negative Teil derart proportioniert, daß seine sphärische Fläche mit derjenigen des positiven Bestandteils konzentrisch ist. Ein von einem Achsenpunkt ausgehender Strahl wird an der ersten Planfläche gebrochen. Das System kann nun so gestellt werden, daß dieser erstmalig gebrochene Strahl von dem gemeinsamen Mittelpunkt der sphärischen Flächen herzukommen scheint. Dann geht das Licht durch diese Flächen ungebrochen durch und wird erst wieder an der letzten Fläche gebrochen, und zwar in paralleler Richtung zum einfallenden Strahl. Wenn beide Linsen aus gleichem Glas bestehen, so

ist auch keine chromatische Aberration zu verzeichnen, desgleichen kein Astigmatismus, weil an den sphärischen Flächen keine Brechung stattfindet. Trotzdem findet eine gewisse Vergrößerung statt, weil die Radien der sphärischen Flächen verschieden groß sind. Das System wäre ideal, wenn alle von demselben Achsenpunkt einfallenden Strahlen die sphärischen Flächen ungebrochen durchdringen würden. Das ist aber nicht der Fall wegen der verschiedenen Brechungen an der ersten Planfläche. Aber es läßt sich erreichen, daß ein Strahlenbüschel gegen den Rand hin etwas unterkorrigiert, gegen die Achse etwas überkorrigiert wird.

Eine bessere Korrektion läßt sich erreichen, wenn die negative Linse umgedreht, ihre sphärische Fläche etwas flacher gemacht und der Abstand zwischen positivem und negativem Teil verkleinert wird. Dieses neue System zeigt dann Verzeichnungsfreiheit über ein Feld von 75 bis 80^0 und nur geringe Farbfehler. Wenn außerdem an Stelle der einfachen positiven Linse eine achromatische gewählt wird, so ist bei einer Verzeichnungsfreiheit für über 90^0 fast völliger Achromatismus erreicht. Ein derartiges Linsensystem ist von Zeiss in ein Stereoskop gebracht, das bei großer Einfachheit alle Vorzüge der Weitwinkel-Stereoskopie aufweist.

Des weiteren behandelt Verf. einen von ihm konstruierten Sucher mit guter Orthoskopie. Er wählt als solchen ein umgekehrtes Fernrohr, in welchem ein verkleinertes Bild in der Okularblende entsteht. Mittels einer Blende von geeigneter Form und Größe kann das Bildfeld exakt begrenzt werden. Auch dieser Sucher ist von Zeiss in eine geeignete Form gebracht worden.

Flügge.

Die Herstellung von Kupfer-Spiegeln auf Glas.

Von E. A. H. French. *Trans. Opt. Soc.* **25.** *S. 229. 1923/24.*

In der vorliegenden Abhandlung wird ein Verfahren beschrieben, wie auf ebene Glasflächen aus Lösungen von Kupfersalzen ein Kupferniederschlag gebracht werden kann, welcher eine kräftig reflektierende einheitliche Haut bildet. Frühere Versuche mit Phenylhydrazin als Reduktionsmittel lieferten keine zusammenhängende Schicht. Verf. vermutet, daß die Bildung von teerigen Nebenprodukten die Ursache davon war. Er hat in dieser Hinsicht ausgedehnte Versuche angestellt, um bessere Ergebnisse zu erzielen. Es hat sich dabei gezeigt, daß Hydrazinsulfat bedeutend geeigneter ist als Phenylhydrazin. Die Methode des Verkupferns ist folgende: Es wird eine Lösung von 9 g Hydrazinsulfat in 150 ccm dest. Wasser angesetzt und diese auf 60^0 C erwärmt. Unter ständigem Umrühren werden sodann 90 ccm einer konz. Lösung von Kupferhydroxyd und Ammoniak bei 16^0 C hinzugefügt. Die erhaltene Mischung zeigt hellgelbe Färbung. Nach einer besonders sorgfältigen Reinigung wird das Glas dann mit der Lösung übergewaschen. Unverzüglich sind darauf zu der Mischung der beiden Lösungen langsam und unter ständigem Umrühren 87,5 ccm einer 11,1 $^0/_0$igen wässrigen Lösung von Kaliumhydroxyd bei 60^0 C hinzuzugießen. Diese Mischung ist sodann in das Verkupferungsgefäß zu füllen und im Wasserbad auf einer Temperatur von 43^0 C zu halten. Der zu verkupfernde Spiegel ist an einem Schwimmer befestigt und wird in das Kupferbad gesenkt, wo er ständig rotieren soll. Große Sorgfalt ist auf den Umstand zu verwenden, daß zwischen dem Zufügen der Kaliumlösung und dem Eintauchen des Spiegels möglichst wenig Zeit vergeht. Die Temperatur des Wasserbades wird dann auf 57^0 C erhöht. Währenddessen wird die Flüssigkeit im Verkupferungsgefäß anfangen, eine dunkelgrüne Farbe anzunehmen und diese für etwa 15 Min. beibehalten, worauf sie einen rötlichen Schimmer bekommt. Das ganze Verfahren dauert ungefähr 20 Min., in welcher Zeit das Glas mit einer Kupferschicht überzogen ist.

Um die feine Haut vor Beschädigungen und oxydierenden Einflüssen zu bewahren, ist nun noch eine Verdichtung notwendig. Der Spiegel bleibt noch 5 Minuten in dem Bad, während die Temperatur auf 43^0 gebracht wird. Eine Lösung von 50 ccm Kupferhydroxyd und Ammoniak bei 16^0 C nebst 10 ccm der Kaliumhydroxydlösung von 60^0 C werden hinzugegossen, wobei der Spiegel auf ganz kurze Zeit aus dem Bad herausgehoben wird. Nachdem der Spiegel wieder hineingetan ist, wird die ungefähr 43^0 C warme Lösung wieder dunkel, und bei allmählicher Erhitzung auf 50^0 C findet eine erneute Kupferreduktion statt, wodurch die schon angesetzte Kupferhaut verdichtet wird. Nun wird wieder die Temperatur auf 43^0 C gesenkt und erneut eine Lösung von 1 g Hydrazinsulfat in 60 ccm Kupferhydroxyd und Ammoniak bei 16^0 C hinzugefügt. Die Temperatur wird auf 50^0 C erhöht, wobei wieder ein Farbenwechsel stattfindet. Nach 15 Min. wird die Temperatur

wieder auf 43° abgekühlt und eine andere Lösung ähnlich der ersten hinzugegossen, nämlich 50 ccm Kupferhydroxyd und Ammoniaklösung bei 16° C, wohinzu 10 ccm Kaliumhydroxydlösung von 60° C kommen. Während der nächsten 15 Minuten ist die Temperatur langsam auf 50° C zu steigern. Dann wird wieder auf 43° herabgegangen, eine neue Lösung ähnlich der zweiten hinzugefügt, also 1 g Hydrazinsulfat gelöst in 60 ccm einer ammoniakalischen Lösung von Kupferhydroxyd von 16° C, und nach erneutem Erhitzen auf 50° C wird das ganze auf Zimmertemperatur abgekühlt, ehe der Spiegel endgültig herausgenommen wird. Schließlich kann auch noch eine Verdichtung der Kupferschicht auf elektrolytischem Wege vorgenommen werden. *Flügge.*

Bücherbesprechungen.

F. L. Hunt, *Aeronautic instruments.* Heft 237 der *Technol. Pap. of the Bur. of Stand.*

In der Nr. 237 der „*Technologic Papers of the Bureau of Standards*“ liegt eine interessante Monographie über aeronautische und flugtechnische Instrumente vor, die besondere Beachtung verdient. In der „*Aeronautic instruments*“ überschriebenen Schrift versucht der Verfasser, Franklin L. Hunt, eine allgemeine Beschreibung der flugtechnischen und aeronautischen Instrumente, die sich im Gebrauch bewährt und deshalb in der Luftfahrt ausgedehnte Verwendung gefunden haben. Der Versuch muß als sehr gelungen bezeichnet werden, obwohl auf theoretische und konstruktive Einzelheiten verzichtet wird. Zahlreiche ausgezeichnete Abbildungen machen die Arbeit dem Verständnis weiterer Kreise zugänglich, erhöhen den Wert aber auch für den Fachmann.

In dem ersten der sechs Kapitel werden die Instrumente zur Orientierung über die Flughöhe beschrieben: Aneroidbarometer, Barographen und ein Statoskop. Letzteres enthält eine gegen Temperaturänderungen gut isolierte Luftkammer aus Metall, die durch ein U-förmig gebogenes, sich an seinen beiden Schenkeln trichterförmig erweiterndes Glasrohr mit der Außenluft in Verbindung steht. In dem U-Rohr spielt eine farbige Flüssigkeitssäule, die in Nullage, d. h. bei gleichem Innen- und Außendruck in beiden Schenkeln gleichhoch steht. Überdruck im Inneren, d. h. Gewinn an Höhe gegenüber der Sollhöhe, oder Unterdruck im Innern der Kammer, d. h. Verlust an Höhe werden demnach dem Piloten durch Bewegungen der Flüssigkeitssäule eindringlich markiert. Übersteigen die Druckunterschiede ein gewisses, von der Form des Glasrohres abhängiges Maß, so entweicht entweder eine Luftblase oder es dringt Luft in einer Blase in das Kammerinnere ein, ohne daß ein Flüssigkeitsverlust eintritt. Das Instrument eignet sich daher als relativer Höhenmesser für jede Flughöhe. In Deutschland hat der Rumplerpreiswettbewerb seinerzeit zur Konstruktion von Statoskopen angeregt, die zwar nicht mit so einfachen Mitteln arbeiten, dafür aber dem beschriebenen Typ überlegen sind (s, H. Koppe, *Zeitschr. f. Flugtechn. u. Motorluftf. 1922. S. 33 ff.*).

Das nächste Kapitel befaßt sich mit Geschwindigkeitsmeßgeräten: Stau- und Saugdruckgeschwindigkeitsmessern und -schreibern, Schalenkreuz- (Morell) und Propelleranemometern (Horn), Geräten zur Bestimmung der Geschwindigkeit des Luftfahrzeuges aus dem Fahrtwind. Als Sonde finden bei den Druckgeschwindigkeitsmessern die verschiedenen Staurohrtypen oder eine Stauscheibe Verwendung, als Meßkörper: Aneroiddosen, Dosensätze, Flüssigkeitsmanometer oder Federn. So geeignet der Fahrtmesser ist, um die Beanspruchung des Luftfahrzeuges zu ermitteln — in gewissem Sinne gestattet er auch Rückschlüsse auf die Stabilität des Fluges —, so wenig kann er die Geschwindigkeit über Grund liefern. Es werden zwar zwei Möglichkeiten dieses wichtige Problem zu lösen skizziert, doch scheint uns dem Gerät, das sich der Funkpeilung bedient, die Zukunft zu gehören, ein Gerät, das auch dann Erfolg verspricht, wenn die beschriebenen umständlichen Verfahren und Apparate wegen unsichtigen Wetters versagen müssen. Die beschriebenen Vertikalgeschwindigkeitsmesser weisen Neuerungen nicht auf.

In dem Kapitel Orientierungsinstrumente werden je ein Trommelkompaß der General Electric Company und der Firma Sperry und ein *Aperiodic compass* von Campell-Bennet beschrieben. Der Sperrysche Kompaß weist horizontale und vertikale Rosenkartenteilung auf. Bei dem aperiodischen Kompaß, der sich in den Ländern englischer Zunge mehr und mehr einzubürgern scheint, interessiert das kleine Magnetsystem mit den Dämpfungsdrähten. Sämtliche Kompasse sehen Kompensiereinrichtung vor, die bei dem Fern-Selen-Kompaß der Firma C. Bamberg (Askania-Werke) überflüssig ist. Letzteres Instrument, das als Nullinstrument für jeden beliebigen Steuerkurs zu be-

nutzen ist, scheint in mehrfacher Hinsicht unerreicht. Weitere sehr wichtige Orientierungsinstrumente sind die Kreisel-(Dreh-)richtungsanzeiger, von denen ein luftangetriebenes Instrument von Sperry und der Drechslersche Kreiselhorizont erläutert werden. Anschließend finden die verschiedenen Neigungsmesser eine Würdigung, die wohl in dem beschriebenen Kreiselneigungsmesser ihren vollkommensten Typ sehen.

Das nächste Kapitel ist den Instrumenten zur Überwachung des Motors gewidmet. Hier werden die verschiedenen Tachometerkonstruktionen, zum Teil mit sehr instruktiven Abbildungen belegt, aufgeführt. Die sinnreiche Konstruktion eines sozusagen pneumatischen Tachometers verdient besondere Beachtung, obwohl das Instrument nicht gegen die wechselnde und mit steigender Höhe abnehmende Luftdichte kompensiert ist.

Anschließend werden Hilfsinstrumente, wie Manometer zur Anzeige des Druckes im Betriebsstofftank und des Öldruckes, mit Bourdonrohr als Meßorgan, Tankinhaltsmesser nach dem Schwimmerprinzip, als Differenzdruckmesser ausgebildet, die als Meßorgan eine Membran oder Membrandosen enthalten und den hydrostatischen Druck der Betriebsstoffsäule gegenüber dem Luftdruck im Tank angeben, beschrieben. Weiterhin finden sich hier Kühlwasser- und Ölthermometer als Fernthermometer mit Zifferblattablesung aufgeführt.

Unter den Navigationsinstrumenten im nächsten Kapitel werden sowohl einfache Kursdreiecke bekannter Art als auch Peilscheiben und komplizierte Apparate zur graphischen Lösung des Kursdreiecks im Luftfahrzeug erwähnt. Die zuletzt genannte Art von Instrumenten wird sicherlich nur im Luftschiff oder Riesenflugzeug Verwendung finden, ebenso wie der Sextant zur astronomischen Ortsbestimmung, der als künstlichen Horizont eine Libelle oder — eine sehr interessante Lösung — einen durch Kreisel horizontierten, von Beschleunigungen, wie sie im Luftfahrzeug sonst jede Beobachtungsmöglichkeit stören, befreiten Spiegel benutzt.

Im letzten Kapitel finden noch einige Spezialinstrumente Erwähnung, z. B. Sauerstoffgeräte für Höhenfahrten, daneben auch selbstschreibende Fahrtmesser und Tachometer und der Meteorograph, Instrumente, die fast nur bei Meßflügen und -fahrten Verwendung finden, außerdem einige Instrumente, die nur im Freiballon gebraucht werden.

Nach all dem muß man feststellen, daß es dem Verfasser wohlgelungen ist, einen Überblick über das in der Luftfahrt eingeführte und bewährte Instrumentarium zu geben und, daß dank der ausgezeichneten Abbildungen auch der Fernstehende diesen Überblick gewinnen kann. *Dr. W. K.*

Edward Luther Stevenson, *Terrestrial and celestial Globes, New Haven. Published for the Hispanic Society of America by the Yale University Press. 1921. 2 Bände.*

Immer eingehender und gründlicher beschäftigt man sich mit der Geschichte der Naturwissenschaften. Es entstehen nicht nur neben den Werken über die Geschichte der einzelnen Naturwissenschaften Werke über Sondergebiete wie die Gerätekunde (z. B. Repsolds umfangreiche Geschichte der astronomischen Meßwerkzeuge), sondern es ist auch möglich, über eine einzelne Gruppe von Geräten, wie die Erd- und Himmelskugeln, ein so umfangreiches und gut ausgestattetes Werk wie das vorliegende erscheinen zu lassen. In diesem Werke schildert Verfasser an der Hand zahlzeicher guter Abbildungen die vorhandenen Erd- und Himmelskugeln, wobei naturgemäß die Erdkugeln des XVI. und XVII. Jahrhunderts infolge der zahlreichen Vorarbeiten des Verfassers besonders eingehend besprochen werden.

Bei den antiken Kugeln werden hauptsächlich die schriftlichen Überlieferungen und die vom Atlas Farnese getragene Himmelskugel behandelt. Hier hätte man statt der wenig genauen Abbildung Passeris lieber die guten Abbildungen, die Thieles Antiken Himmelsbilder beigegeben sind, gesehen. Auch hätte eine Durchsicht der frühmittelalterlichen lateinischen und griechischen Handschriften Bilder antiker Erd- und Himmelskugeln zutage gefördert. Vollständiger ist der Abschnitt über die arabischen Kugeln. Nur hätte auch die in Oxford befindliche Himmelskugel erwähnt werden können, zumal sie eine sehr merkwürdige Einstellung der Kugel für verschiedene Breiten besitzt. Der folgende Abschnitt über die Kugeln des christlichen Mittelalters ist leider etwas dürftig ausgefallen. Die in den Handschriften enthaltenen Nachrichten über hergestellte Kugeln und die Anweisung zur Herstellung sind zu wenig berücksichtigt und die wichtigen in Kues befindlichen

Himmelskugeln gar nicht erwähnt. Aber für die folgende Zeit bis zum Ende des XVIII. Jahrhunderts dürften wohl alle Kugeln, auch solche, bei denen nur die Blätter vorhanden sind, in Betracht gezogen worden sein. Eingehend werden die Kugeln nach ihrem Aussehen, den Inschriften und dem Gestell beschrieben. Auch über den Hersteller und Entwerfer finden sich zahlreiche Nachrichten mit ihren Bildnissen. Sehr erwünscht wäre es gewesen, wenn die um 1600 entstandenen Himmelskugeln bezüglich der südlichen Sternbilder eingehend untersucht worden wären. Es hätte sich manches zur Entscheidung der Frage, ob Houtmanns nur die Beobachtungen des Petrus Theodorus verwendet oder auch eigene angestellt hat, ergeben. Hierbei möge die Angabe auf 1, 178 berichtet werden, daß Ph. Apian die große Himmelskugel der bayerischen Staatsbibliothek hergestellt habe. Tatsächlich hat Arboreus die Karten entworfen, Donauer sie bemalt und Ulrich Schnip das Gestell 1575 verfertigt. Ferner ist zu der Angabe 2, 129 zu berichtigen, daß die beiden alten chinesischen Geräte in Peking, unterhalb der Jesuitensternwarte, ein Himmelsgerüst und ein Beobachtungsgerät darstellen, aber keine Himmelskugel.

Der letzte Abschnitt ist der Entwicklung vom Himmelsgerüst (Armillarsphäre) zur Kugel, der Herstellung von Erd- und Himmelskugeln, den Mondkugeln und Planetarien gewidmet. Diese Gegenstände hätten ausführlicher behandelt werden können. Vielleicht dürfte es sich empfehlen, das Himmelsgerüst in einer neuen Auflage in einem eigenen Abschnitt zu besprechen und in einem anderen Abschnitte die zahlreichen mit ihm und den Erd- und Himmelskugeln zu lösenden Aufgaben aus dem Gebiete der mathematischen Erd- und Himmelskunde, Aufgaben, wie sie in der Literatur des Mittelalters und der Neuzeit sehr häufig sind. Auch die Herstellung der Karten für die Kugel und das Entwerfen des Kartennetzes hätte eingehender behandelt werden müssen. Desgleichen sind die Angaben über die Planetarien zu kurz gehalten. Tatsächlich gibt es Planetarien nicht erst seit dem XVII. Jahrhundert. Vielmehr hat man schon früher großen Wert auf die Darstellung der Planetenbewegung gelegt. Das beweisen einerseits die sogenannten Planetenuhren, ausgehend von den antiken Wasseruhren, und die wohl auf Campanus zurückgehenden Scheibengeräte, die später auch in großem Maßstabe hergestellt wurden, z. B. der Planetentisch von 1428 in Stams.

Den Schluß bildet eine sehr brauchbare Übersicht, die das Entstehungsjahr, Durchmesser und Aufbewahrungsort der besprochenen Erd- und Himmelskugeln sofort erkennen läßt. Diese Übersicht ließe sich durch die Berücksichtigung der vielen noch vorhandenen, aber nicht aufgezählten Kugeln stark erweitern.

Trotz der erwähnten Ergänzungen, deren das Werk noch bedarf, kann es schon jetzt jedem, der sich mit diesem Gegenstand beschäftigen will, große Dienste leisten, da es einen guten Überblick gibt und zahlreiche Literaturnachweise enthält. *E. Zinner.*

Procès-verbal *de la 70me Séance de la Commission géodésique suisse.* 8°. 40 S. Neuchâtel, Attinger 1924.

Aus diesem Bericht über die Berner Zusammenkunft der Schweizer Geodät. Kommission vom März 1924, auf der besonders die direkten Längenunterschiedsbestimmungen mit Benützung der radiotelegraphischen Zeitzeichen eingehend besprochen wurden, sei hier nur eine Beobachtung an den Libellen der zur Ortszeitermittlung gebrauchten beiden Durchgangsinstrumente mitgeteilt, die aufs neue zeigt, wie sorgfältig feine Libellen geprüft werden müssen.

Während bei den ältern Libellen der zwei Instrumente im Lauf eines Jahres weder eine Änderung des Teilwerts noch eine Änderung der Abhängigkeit des Teilwerts von Teilungsstelle, Blasenlänge oder Temperatur festzustellen war, zeigten zwei 1921 angeschaffte Libellen merkwürdige Eigenschaften: Bei der einen fanden sich unterhalb $+9^0$ C bei weiter sinkender Temperatur zunehmende Unstetigkeiten des Teilwerts, und zwar gleichgültig, ob die Libellenröhre bei der Untersuchung mit oder ohne Fassung gebraucht wurde; bei der zweiten Libelle traten umgekehrt bei hohen Temperaturen Unregelmäßigkeiten auf, allerdings erst über $+28^0$, also bei Temperaturen die auf den Schweizer Stationen auch im Sommer bei Nacht nicht vorzukommen pflegen.

Hammer †.

Nachdruck verboten.

Verantwortlich für die Redaktion: Oberregierungsrat Professor Dr. F. Göpel in Charlottenburg.
Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Kuratorium:

Prof. Dr. **R. Straubel**, Prof. Dr. **F. Weidert**, geschäftsführendes Mitglied.

Schriftleitung: Oberregierungsrat Prof. Dr. F. Göpel in Charlottenburg-Berlin.

XLV. Jahrgang. **Oktober 1925.** Zehntes Heft.

Otto Lummer †

Lummerplakette — Widmung zum 60. Geburtstage.

Lummer ist tot! Ein Herzschlag setzte seinem Schaffen am 5. Juli ein Ende, wenige Tage vor seinem fünfundsechzigsten Geburtstage, den er am 17. Juli hätte feiern können.

Schwer ist es, Lummers Bedeutung als Physiker in kurzen Worten zu schildern. Sein Name ist untrennbar verknüpft mit der Entwicklung der Physik innerhalb der letzten 40 Jahre, da er auf fast allen Gebieten schöpferisch tätig gewesen ist, wenn auch die Mehrzahl seiner Arbeiten sich auf die „Lehre von der strahlenden Energie" erstreckt.

Schon in seiner ersten wissenschaftlichen Arbeit, der im Jahre 1884

abgeschlossenen Dissertation „Über eine neue Interferenzerscheinung an Planparallelplatten und eine Methode, die Planparallelität solcher Gläser zu prüfen“ zeigte Lummer, wie auch Helmholtz in seiner Beurteilung ausdrückt, in wie gründlicher Weise und nach welch feinem Gefühl für die Wichtigkeit selbst der scheinbar unbedeutendsten Erscheinungen die physikalischen Probleme von ihm erfaßt wurden. Diese Fähigkeit, zum Teil auf besonders glücklicher Veranlagung beruhend, zum Teil aber auch erst geweckt und gefördert durch die vorzüglichen Lehrer, die in den achtziger Jahren in Berlin wirkten, macht sich in allen Arbeiten Lummers bemerkbar. Helmholtz, wohl der bedeutendste unter seinen Lehrern, von den nur noch Du-Bois-Reymond, Kirchhoff, Kummer und Weierstraß genannt sein mögen, erkannte frühzeitig Lummers Wert: schon vor seinem Examen war Lummer Assistent bei Helmholtz, mit dem er im Jahre 1887 zur Reichsanstalt überging, an der er bis zum Jahre 1904 tätig war. In zahlreichen Veröffentlichungen sind die Ergebnisse seiner Arbeiten aus dieser Zeit niedergelegt.

Anknüpfend an die in der Dissertation behandelten Fragen hat Lummer die Theorie der Interferenzerscheinungen weiter ausgebaut und in der Lummer-Gehrkeschen Platte ein Hilfsmittel für die im Laufe der Jahre immer bedeutungsvoller gewordene Untersuchung der Feinstruktur der Spektrallinien und damit auch des Atombaues geschaffen, das neben dem Stufengitter und anderen Spektralapparaten von hoher Auflösungsfähigkeit immer seinen Wert behalten wird.

Die Beschäftigung mit photometrischen Aufgaben führte zum Ausbau der Meßmethoden und zur Konstruktion neuer Apparate, wie des Lummer-Brodhunschen Photometerwürfels, des Interferenzphoto- und Pyrometers und zum Ausbau der Halbschattenapparate. In engstem Zusammenhang mit diesen Arbeiten stehen diejenigen über die Strahlung fester Körper, die zunächst dem Zwecke dienen sollten, eine physikalisch einwandfrei definierte Lichtquelle zu schaffen. Auf Grund seiner Erfahrungen auf dem Gebiete der Photometrie ist Lummer bereits im Jahre 1893 als Vertreter des Deutschen Reiches zum Internationalen Beleuchtungstechnischen Kongreß entsandt worden, auf der auch die Violle-Einheit, um deren Herstellung Lummer sich Verdienste erworben hat, eingehend besprochen worden ist.

In zäher, zielbewußter Arbeit, die vor keiner theoretischen oder experimentellen Schwierigkeit zurückschreckte, hat Lummer während der siebzehnjährigen Tätigkeit an der Reichsanstalt das Gebiet der Optik im weitesten Sinne bearbeitet. Von den photometrischen Problemen führte ihn der Weg zu strahlungstheoretischen Aufgaben, gleichzeitig aber auch zur physiologischen Optik, die ihm durch die nahe Berührung mit Helmholtz vertraut war. Lummers Werk ist es, die Grundlagen für die Aufstellung der Gesetze der schwarzen Strahlung und des blanken Platins gegeben zu haben, die das Fundament der modernen Beleuchtungstechnik bilden, die aber auch den Anstoß zur Ausbildung der Quantentheorie gegeben haben. Tätigen Anteil an seinen Erfolgen haben aber auch Jahnke und Pringsheim, seine treuen Freunde, deren erster als Mathematiker, deren zweiter als theoretischer Physiker ihm ratend und helfend zur Seite gestanden haben. Die Abhand-

lungen in den Annalen der Physik, im Archiv für Mathematik und Physik, in den Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft und andern wissenschaftlichen Zeitschriften aus den Jahren 1899 bis 1904 geben ein klares Bild von der Entwicklung dieses Gebietes, das in dem zunächst im Jahre 1903 als Broschüre, später als Buch erschienenen Werk „Grundlagen, Ziele und Grenzen der Leuchttechnik“ (München und Berlin 1918) eine vorzügliche zusammenfassende Darstellung gefunden hat.

Auch die geometrische Optik, in die Lummer durch eine Vortragsreihe Abbes eingeführt worden ist, hat viele Anregungen durch Lummer erfahren, der für seine Versuche ein als vorzüglich zu bezeichnendes Spektrometerobjektiv selbst berechnet hat. Als Frucht dieser Arbeiten darf man wohl größere Abschnitte der von Lummer bearbeiteten Neuauflage des Bandes Optik des Lehrbuch der Physik von Müller-Pouillet betrachten, die erstmalig 1897, dann in veränderter Form 1909 erschien und jetzt durch eine neue Bearbeitung ersetzt werden sollte, deren Abschluß Lummer jedoch nicht mehr erlebt hat.

Im Anfang des Jahres 1905 siedelte Lummer als ordentlicher Professor für Experimentalphysik und Direktor des Physikalischen Instituts nach Breslau über, wo er bis zu seinem Tode verblieben ist. Trotz des erweiterten Pflichtenkreises, der Unterrichtstätigkeit und der notwendigen organisatorischen Arbeiten für das neue Institut fand Lummer noch Zeit für experimentelle Untersuchungen, besonders auf dem Gebiet der Optik, doch widmete er sein Interesse in neuerer Zeit auch der Funktechnik.

Nur bei Lummers fast übermenschlicher Arbeitskraft und seiner vollkommenen Hingabe an die von ihm gern erfüllten Pflichten ist es verständlich, daß er neben seiner Forschertätigkeit noch seine Mission als Lehrer erfüllen konnte. Jeder seiner Schüler wird sich gern seiner Vorlesungen erinnern Ein packender, lebhafter Vortrag, in dem auch der Humor zu seinem Recht kam, machte Lummers Kolleg zu einem Genuß, den auch Nichtphysiker sich gern verschafften, besonders wenn großartige Experimente die an sich schon klaren Ausführungen noch greifbarer machten. Lummers Begeisterung mußte sich auf alle seine Hörer übertragen: für ihn war Wissenschaft Leben, Forschen und Lehren innerster Zwang. Seine ganze Persönlichkeit war wie zum Lehrberuf prädestiniert; er verstand es, engste persönliche Fühlung mit allen seinen Schülern zu nehmen und ihnen außer den Fachkenntnissen auch Lebensweisheit zu übermitteln. Stets hatte er Zeit für einen guten Rat, Freuden und Sorgen teilte er mit seinen Schülern und hat manchem, der unverschuldet in Not war, den Weg geebnet, oft mit eignen Mitteln, die ihm aus Erfindungen, Gutachten und literarischer Tätigkeit zuflossen.

Wer kann entscheiden, ob Lummer nachhaltiger als Forscher oder als Lehrer gewirkt hat? Groß sind seine wissenschaftlichen Erfolge, groß ist aber auch die Zahl seiner Schüler, die an seinem Werke weiterschaffen, teils als akademische Lehrer in und außerhalb Deutschlands, teils als technische Physiker in industriellen Unternehmungen. In ihnen und ihren Arbeiten lebt Lummers Geist fort, der durch Sorgen, Krankheit und Alter nichts von seiner Frische und Spannkraft eingebüßt hatte.

H. Schulz.

Über den Gebrauch von Lichtfiltern bei polarimetrischen Messungen.

Von
Dr. **H. Schulz** in Berlin-Lichterfelde.
(Mitteilung aus der Optischen Anstalt C. P. Goerz A.-G. in Berlin-Zehlendorf.)

Bei der Bestimmung des Drehungsvermögens optisch aktiver Substanzen, die eine große praktische Bedeutung gewonnen hat, ist stets die Abhängigkeit der Drehung von der Wellenlänge, die Rotationsdispersion, zu berücksichtigen. Um vergleichbare Zahlen zu erhalten, ist man dazu übergegangen, als charakteristischen Drehungswert einer Substanz den für Na-Licht sich ergebenden zu wählen und die Messungen, soweit möglich, mit Na-Licht auszuführen oder, wie bei den Saccharimetern, die Rotationsdispersion durch ein in gleichem Maße dispergierendes Meßsystem auszugleichen, was jedoch nur für eine beschränkte Zahl von Substanzen durchführbar ist. Will man dagegen die Rotationsdispersion selbst ermitteln, so bleibt, wenn man von spektraler Zerlegung absieht, bei der Schwierigkeit der Herstellung genügend heller monochromatischer Lichtquellen nur der Weg der Verwendung von Filtern übrig.

Welcher Art nun auch diese Filter sein mögen, ob sie aus organischen oder anorganischen absorbierenden Körpern in fester Form oder in Lösung bestehen, stets wird der durchgelassene Spektralbereich eine endliche Breite aufweisen und mit der Einschränkung des Durchlässigkeitsbereiches wird auch die Intensität des durchgelassenen Lichtes abnehmen. Je geringer aber die Intensität der Lichtquelle wird, um so größer ist der Halbschatten zu wählen, um so größer wird also im allgemeinen der Fehler der Messung werden. Um diesen zu vermindern, kann man nun versuchen, durch Wahl geeigneter Lichtquellen den durch den Polarisationsapparat ins Auge gelangenden Lichtstrom zu vergrößern. Vorzüglich geeignet zu diesem Zwecke sind die Wolfram-Punktlampen, die neuerdings für die üblichen Spannungen im Handel zu haben sind[1]).

In der Tat ist das in der Analysatorblende entworfene Bild der Leuchtfläche bei den Punktlampen kaum größer als die Blendenfläche, so daß der ganze in den Kondensor eintretende Lichststrom in das Auge des Beobachters gelangt, soweit er nicht durch den Analysator vernichtet wird, während bei den sonst üblichen Lampen nur ein geringer Teil der Leuchtfläche wirksam wird. Man kann deshalb bei den Punktlampen, ohne die Helligkeit des Gesichtsfeldes zu sehr zu schwächen, den Halbschatten außerordentlich klein wählen: selbst bei etwa $0{,}3^0$ Halbschattenwinkel können noch gute Einstellungen erzielt werden, wie die folgende Übersichtstafel zeigt.

Größe des Halbschattens	Mittlerer Fehler der Einzelmessung berechnet aus Reihen von je 10 Einstellungen
$0{,}32^0$	0,003
$0{,}83^0$	0,006
$1{,}75^0$	0,009
$2{,}81^0$	0,011

Bei $0{,}3^0$ Halbschattenwinkel befindet sich also die Fehlerkurve noch im Absteigen, während nach früheren Messungen mit normalen Glühlampen bereits bei

[1]) Von der Osram-Com. Ges. werden Wechselstromlampen für 220 Volt, Gleichstromlampen von 110 Volt an hergestellt.

viel größeren Halbschattenwinkeln das Maximum der Empfindlichkeit erreicht worden ist[1]), nämlich bei einer 25 kerzigen Lampe bei 3,8°, bei einer 75 kerzigen Lampe bei 2,8° und bei einer 150 kerzigen Lampe bei 0,8° Halbschattenwinkel.

Man könnte nun geneigt sein, aus diesen Versuchen, die ohne Einschaltung aktiver Substanz, also als Nullpunktsbestimmungen ausgeführt worden sind, zu schließen, daß die Punktlampe alle anderen Lichtquellen bei weitem übertrifft, soweit sie für polarimetrische Messungen in Frage kommen. Dieser Schluß ist aber nur bedingt zulässig, denn bei Vorhandensein endlicher Rotationsdispersion treten bei kleinen Halbschattenwinkeln selbst bei verhältnismäßig engen Filtern in den Gesichtsfeldhälften eines Polarisationsapparates recht starke Färbungen auf, die eine genaue Einstellung auf Helligkeitsgleichheit erschweren und die Empfindllichkeit sehr beträchtlich verringern.

Eine einfache Überlegung läßt diese Tatsache deutlich erkennen. Das als ideal angenommene Filter möge alle Wellenlängen zwischen λ_1 und λ_2 ungeschwächt hindurchlassen, die übrigen aber vollkommen absorbieren; ferner möge die optisch aktive Substanz für die Grenzen des Durchlässigkeitsbereiches die Drehungswerte α_1 und α_2 aufweisen, wobei $\alpha_1 > \alpha_2$ und somit $\lambda_1 < \lambda_2$ sein soll (normale Dispersion). Ist das Filter nicht allzu breit und der zu messende Drehungswinkel klein, so wird man $\alpha_1 - \alpha_2 = d\alpha$ dem mittleren Drehungswinkel proportional setzen können, so daß

$$d\alpha = \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2} = c\alpha$$

ist, wo c für Lösungen als unabhängig von der Konzentration angenommen werden kann.

Für den Fall kleinen Halbschattens, wie er bei der Wolframpunktlampe benutzt werden muß, wenn das Gesichtsfeld in mittlerer Helligkeit, also nicht blendend, erscheinen soll, wird also für verhältnismäßig geringe Drehungswinkel α die Rotationsdispersion $d\alpha$ dem Halbschattenwinkel 2ε annähernd gleich werden.

Aus der Boltzmannschen Formel ergibt sich zunächst allgemein

$$d\alpha = -\alpha \left[\frac{2\,d\lambda}{\lambda} \, \frac{A + \frac{2B}{\lambda^2}}{A + \frac{B}{\lambda^2}} \right]$$

und daraus für Zuckerlösungen bei $\lambda = 550\ m\mu$ und $d\lambda = 25\ m\mu$

$$d\alpha = -\alpha \cdot 0{,}0979\,,$$

so daß der Fall

$$2\varepsilon = |d\alpha|$$

bei folgenden Werten der Drehung eintritt

2ε	α
0,5	5,1°
1,0	10,2°
1,5	15,3°
2,0	20,4°

Wenn also bereits bei kleinen Drehungen α Halbschattenwinkel und Dispersionswinkel gleich werden, so tritt selbst bei geringen Konzentrationen schon eine merkliche Färbung der Gesichtsfeldhälften auf, weil die einzelnen monochromatischen Komponenten der Strahlung in sehr verschiedenem Maße geschwächt werden. Daher gelangt man

[1]) H. Schulz: *Zeitschr. f. Techn. Physik*, **1.** *S. 116—137. 1920.*

unabweislich zu folgendem Schluß: Will man unter Verwendung von Filtern zur angenäherten Monochromatisierung des Lichtes mit Kreisapparaten Drehungswinkel bestimmen, so darf man nicht allzu kleine Halbschattenwinkel, d. h. zu starke Lichtquellen verwenden. Je größer der zu messende Drehungswinkel und damit auch die Rotationsdispersion ist, desto größer ist der Halbschattenwinkel zu wählen.

Eine Einengung des Durchlässigkeitsbereiches der Filter durch Erhöhung der Konzentration oder der Schichtdicke führt im allgemeinen nicht zu befriedigenden Ergebnissen, da die Durchlässigkeitskurve hierbei immer flacher wird, und es bleibt daher nur die Möglichkeit, die Helligkeit der Lichtquelle durch geeignete Maßnahmen zu schwächen.

Die obigen Folgerungen konnten durch Versuche einwandfrei bestätigt werden, von denen hier nur einer erwähnt sein mag. In der Anordnung Lampe-Filter-Polarisationsapparat konnte die normal verwendete Glühlampe durch eine Wolframpunktlampe ersetzt werden. Während die Glühlampe einen Halbschatten von etwa 10 bis 12^0 erforderte, bei dem merkliche Farbendifferenzen für eine Zuckerlösung mit 7^0 Drehung nicht auftrat und die Messung des Drehungswinkels mit einer Fehlergrenze von $1^0/_0$ durchführbar war, konnte bei Verwendung der Wolframpunktlampe und $0{,}5^0$ Halbschatten keine Stelle angenäherter Farbengleichheit mehr gefunden werden. Eine sichere Messung war in diesem Falle also unmöglich.

Wie oben erörtert, ist man gewöhnt, die spezifische Drehung für Na-Licht als maßgebend zu betrachten, und daher erklärt es sich, daß gerade die Herstellung von Lichtfiltern, deren Schwerpunkt mit der D-Linie zusammenfällt, als eine wichtige Aufgabe betrachtet worden ist. Leider scheint man hierbei übersehen zu haben, daß die D-Linie sich in einem Gebiet des Spektrums befindet, in dem die Änderung des Farbentons mit der Wellenlänge besonders groß ist. Ein Filter mit dem Schwerpunkt bei 589 $m\mu$ müßte also, um das Auftreten störender Farben in den Gesichtsfeldhälften des Polarisationsapparates zu verhindern, erheblich enger und daher auch dunkler gewählt werden, als beispielsweise ein Filter, dessen Schwerpunkt im roten, grünen oder violetten Teil des Spektrums liegt.

Für die sachgemäße Verwendung von Filtern ist es also nötig, Schwerpunkt, Halbschattenwinkel und Helligkeit der Lichtquelle innerhalb bestimmter durch Drehungswinkel und Dispersion der zu untersuchenden Substanz gegebener Grenzen zu halten. Die stets zu erfüllende Bedingung ist, den Dispersionswinkel $d\alpha$ klein gegenüber dem Halbschattenwinkel zu wählen. Ferner ist die Filterbreite und damit die Helligkeit der Lichtquelle auf die Größe der Farbenunterschiedschwelle des Auges einzustellen.

Die Voigtländersche optische Werkstätte und ihre Umwelt.

Ein Ausschnitt aus einer weitergreifenden Darstellung photographisch-optischer Betätigung.

Von

M. v. Rohr in Jena.

(Schluß von S. 454.)

Wenden wir uns nun dem andern Teilhaber, W. Fr. Voigtländer, in der Zeit unmittelbar nach dem Bruch zu, so mag diesem, als sein erster Ärger über den Streitfall verraucht war, das von ihm später (81β) angedeutete Bedenken über die Zweckmäßigkeit seiner Handlungsweise gekommen sein.

Zunächst hat er aber den Wegfall der Beratung durch seinen wissenschaftlichen Leiter kaum bemerkt, denn an Arbeit gab es genug zu tun. So wurden mit der Zeit andere und andere Brennweiten der Bildnislinse herausgebracht; von den Zwei- und den Vierzöllern kann ich zunächst nur sagen, daß sie je im Jahre 1848 und 1852 bereits angeboten wurden, kenne aber ihr Entstehungsjahr nicht.

Bereits oben wurde darauf hingewiesen, daß man das neue Gerät schon in den ersten Monaten des Jahres 1841 nach Paris sandte, und es wurde sicherlich auch sonst im Auslande angeboten. Die ausübenden Photographen erkannten sofort die ungemeine Überlegenheit der neuen Bildnislinse, und selbstverständlich wurde sie in Wien selbst und im Ausland, in Paris und London wohl zuerst, dann in Amerika und schließlich auch in Deutschland nachgeahmt. Dies letzte können wir aus einem Danckerschen Preisblatt vom Januar 1844 erschließen.

Wenn die dort auftretenden beiden „Daguerreotype" zu 40 [= 133,5] und zu 60 Thalern [= 200 S.-Mk.] wirklich Nachbildungen der beiden bisher erschienenen Voigtländerschen Bildnislinsen enthielten — und man sieht nicht recht ein, wie man andere Anlagen an Bildnisphotographen hätte absetzen können —, so steht dem Voigtländerschen Preise von 120 fl = 230 S.-Mk. eine Unterbietung auf wenig mehr als die Hälfte [0,58] in Rathenow gegenüber. Um die entsprechende Vergleichung für die größere Vorrichtung durchzuführen, fehlt mir die Kenntnis des in Wien für Linse und Kammer geforderten Preises.

Im Auslande waren es namentlich Paris und London, wo die durch kein Patent geschützte Bildnislinse nachgemacht wurde. In London hat das zunächst das gut eingeführte Haus von A. Ross getan, der seine eigene für Collen hergestellte Anlage fallen ließ und — wir wissen nicht wann, vielleicht um das Ende der vierziger Jahre — die Einstellverschiedenheit durch Abänderung der Krümmungen hob. — In Paris war zwar Ch. Chevalier, der mit einem Wiener Gelehrten J. Reindl in einen äußerst heftigen Streit um die Verdienstlichkeit deutscher und französischer Linsen geriet, ein optischer Gegner der neuen Anlage, so daß er für bloße Bildnislinsen vermutlich auch in Paris einigermaßen in das Hintertreffen geraten sein wird, die meisten andern Pariser Werkstätten, namentlich das angesehene Haus von N. P. Lerebours, wandten sich der neuen Linse zu. Die sorgfältigen Feststellungen, die in dieser, später von M. F. L. Secretan geleiteten Anstalt zur Einstellverschiedenheit bis in die 50er Jahre hinein gemacht wurden, lassen deutlich erkennen, daß man daselbst früh daran gegangen ist, die alte optische Art der Farbenhebung durch die zweckmäßige photographische zu ersetzen. — Der nach unserer heutigen Kenntnis fähigste ausübende Optiker der damaligen Zeit, A. S. Wolcott, arbeitete in einer die Bedürfnisse eines viel späteren Zeitraums in erstaunlicher Weise vorwegnehmenden Weise an der Ausbildung der symmetrischen Anlage, doch starb er noch vor dem Ende des Jahres 1843, ohne daß die von ihm ausgestreute Saat aufging, denn bei der damaligen mangelhaften Öffentlichkeit der englischen Patentschriften wurde seine einzige spätere Schrift der Kenntnis der Mitwelt vorenthalten.

Vielleicht kann hier auch darauf hingewiesen werden, daß W. Fr. Voigtländer um das Ende der 40er Jahre seinen hauptsächlichen Betrieb nach Braunschweig, der Heimat seiner Gemahlin, verlegte.

Von Bemühungen und auch nur von mittelmäßigen Erfolgen im Kampf mit der Einstellverschiedenheit ist bei dem Braunschweig Betriebe nicht die Rede. Wir kennen zufälligerweise Voigtländers Ansichten über die Einstellverschiedenheit aus einer im Dezember 1857 unterzeichneten und Krügers Vademecum angehängten

Mitteilung. Danach wird allen Ernstes unter Berufung auf Claudet und zwei italienische Gelehrte die Einstellverschiedenheit als ein Vorzug der Braunschweiger Linsen hingestellt und empfohlen, die Unbequemlichkeit eben um der guten Leistung willen in den Kauf zu nehmen. Leider ist mir keine Preisliste bald nach 1858 bekannt, wo doch in irgendeiner Weise das Gegenteil von dem vertreten werden mußte, was kurze Zeit vorher als gültig hingestellt worden war. — Voigtländer (69β) hat später hervorgehoben, daß keines seiner Erzeugnisse seine Werkstätte verlasse, ohne von ihm persönlich vollendet worden zu sein, und Herr H. Harting hat die gleiche Feststellung aus der Familienüberlieferung des Voigtländerschen Hauses heraus machen können. An Sorgfalt und Gewissenhaftigkeit in der Erfüllung der gleichsam handwerksmäßigen Pflichten ist ihm gewiß nichts vorzuwerfen gewesen, aber Abweichungen von der durch Petzval angegebenen Richtung hat er sich nicht herausgenommen, auch nicht als die Verbindung längst gelöst war. Sicher hat diese Gewissenhaftigkeit in der Erhaltung einer in gewisser Hinsicht wirklich vollkommenen Anlage zu seinem Ruhm als ausführender Optiker ganz allgemein beigetragen; in dem oben berührten Falle des in London als Photographen sehr geschätzten französischen Fachmannes A. Claudet weiß man auch genau, daß er — möglicherweise in unrichtiger Begründung — Voigtländers Bildnislinsen denen anderer Häuser vorzog.

Für eine solche, günstige Beurteilung lassen sich verschiedene Belege aus dem Jahre 1857 anführen, wo wir etwas besser über die Wettbewerber unterrichtet sind. Was E. Busch angeht, so bot er damals eine ganze lange Reihe der Bildnislinsen an; seine Maße sind vermutlich in rheinländischem Maß angegeben, also ein wenig kleiner als die Voigtländerschen, doch braucht dieser Unterschied bei den groben Angaben der Linsendurchmesser in ganzen oder halben Zollen nicht beachtet zu werden; die Preise sind in Talern ausgedrückt.

	Voigtländer	Busch	Preisverhältnis: Busch/Voigtländer
Anderthalbzöller	34	11	0,32
Zweizöller	51	22	0,43
Dreizöller	95	75	0,79
Vierzöller	220	135	0,61
Fünfzöller	450	240	0,53

Ein deutlich erkennbares Gesetz wie die Buschischen befolgen die Voigtländerschen Preise in ihrer Abhängigkeit vom Linsendurchmesser nicht. Nimmt man als eine ganz rohe Annäherung, daß sie im quadratischen Verhältnis mit dem Linsendurchmesser wachsen sollten, so bleibt der Zweizöller um 16%, der Dreizöller um 30% hinter dieser Norm zurück, während sie der Vierzöller um 10%, der Fünfzöller um 19% überschreitet. Man wird also eher sagen können, daß Voigtländer die seltener abgesetzten, sowohl die kleinen als auch die großen Nummern zu verhältnismäßig höheren Preisen verkaufte als die mittleren, besonders viel verlangten. Der Unterschied von den Preisen Buschens ist überall, im Verhältnis und auch in den Zahlen selbst, sehr beträchtlich.

Aus dem Auslande wird durch J. B. Schneider der kennzeichnende Preisunterschied mitgeteilt, daß Voigtländer seine großen Fünfzöller zu 450 Thlr =

1666 fr.-Gold verkaufte, wozu noch an Zoll und Fracht bis nach Paris

584 fr.-Gold kamen, also im ganzen zu

2250 fr.-Gold, obwohl man einen solchen Fünfzöller in Paris für 500 fr.-Gold erstehen konnte. Das Preisverhältnis 500/2250 ist hier sogar nur 0,222.

Aus diesen beiden Vergleichungen kann also mit erfreulicher Sicherheit geschlossen werden, daß die Arbeit der Braunschweiger Werkstätte einen sehr großen Ruf hatte und starke Unterbietungen nicht zu scheuen brauchte. Man wird heute geneigt sein, den wahren Grund dafür in der großen Sorgfalt bei der Überwachung der Ausführung zu suchen. Wohl kann sich der Fachmann vorstellen, daß Voigtländern die Auswahl genügend übereinstimmender Schmelzen häufig Schwierigkeiten gemacht haben mag, und wird dafür ein später durchgeführtes Aushilfsmittel gern zur Kenntnis nehmen. Da er es mit Hilfe des Schmelzmeisters G. Bontemps und während dessen Tätigkeit im Chanceschen Betriebe getroffen hat, so muß man die Zeit sicherlich nach 1849 setzen, denn erst in diesem Jahre hat die alte englische Hütte eben mit dem französischen Fachmann ihren Betrieb auf die Herstellung optischen Glases ausgedehnt. Voigtländer stellte an jene Hütte das Ersuchen, Kron der ersten, 1840 von Petzval verwandten Art in größeren Mengen herzustellen, und deren Fachmann (73ε) hat tatsächlich diese Bedingung auch bei einer recht scharfen Probe erfüllen können, ein Erfolg, der zur Kennzeichnung jenes Hüttenbetriebes in dieser Zeit wohl verwandt werden kann.

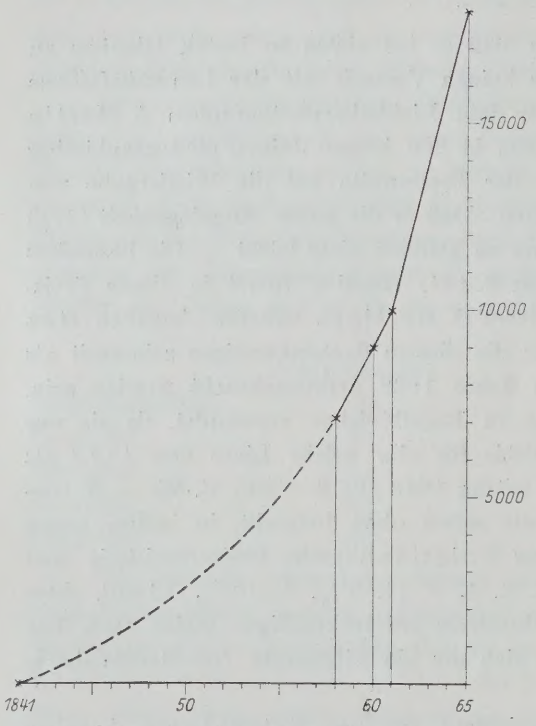
Ganz erstaunlich muß es aber wirken, daß er bei einem so festen Glauben an die Zuverlässigkeit seines früheren Meisters keinen Versuch mit der Landschaftslinse (I + II) machte, die seinerzeit ebenfalls von dem Liebhaberphotographen A. Martin erprobt worden war. Man sollte doch meinen, in den langen Jahren photographischer Tätigkeit hätte er eigentlich den Einfluß der Brennweite auf die Wiedergabe von Außendingen besser müssen beurteilen können. Daß er die ganze Angelegenheit (37β) vergessen habe, fällt dem unbefangenen Leser zu glauben nicht leicht. — Die besonders schnell arbeitende Linse Petzvals (s. oben S. 451) erschien zuerst in einem Preisverzeichnis vom Mai 1846 und ist nach Herrn H. Hartings neueren Angaben etwa ein Vierteljahrhundert lang geführt worden; die diesem Rechenkundigen seinerzeit als Muster vorgelegte Nr. 12729 wird etwa im Jahre 1862 herausgebracht worden sein. Man hat diese ganz lichtstarke Linsenfolge zu Rundbildchen verwendet, da sie nur ein sehr kleines Feld auszeichnete. Der Preis für eine solche Linse von 1 : 2,3 als Öffnungsverhältnis und 176 mm Brennweite betrug 1846 195 fl = 335 G.-Mk. — Nebenbei wurden die gewohnten Bildnislinsen, wie schon oben bemerkt, in immer neuen Brennweiten ausgeführt, und zwar zeigt das Voigtländersche Preisverzeichnis vom Jahre 1858 Linsendurchmesser von 1.5, 2, 3, 4, 5″ [4, $5^1/_2$, 8, $10^1/_2$, 13 cm], denn man stufte in einer für den Photographen durchaus unzweckmäßigen Weise nach dem freien Linsendurchmesser ab, wie wenn es sich um ein Linsenrohr für Sternbeobachtungen gehandelt hätte.

Neuerungen an den Linsen in Abweichung von den Petzvalschen Angaben wurden in dem Voigtländerschen Betriebe nicht in großer Zahl durchgeführt. Am frühesten wurde in A. Martins Bericht von 1848 eine Änderung an einem Zweizöller beschrieben, die auf eine Annäherung an einen Linsensatz herauskommt. Das Vorderglied dieser Bildnislinse ließ sich, in umgekehrter Stellung und durch eine Vorderblende auf ein Öffnungsverhältnis von 1 : 29 gebracht, als Landschaftslinse mit $31^1/_2$ cm Brennweite verwenden. Andere optische Betriebe sind ebenfalls lange bei dieser Art der Verwertung geblieben und haben, ebenso wie Voigtländer, solche Einzellinsen auch ohne das Hinterglied in zweckmäßiger Fassung für Landschaftsaufnahmen verkauft. — Wann man angefangen hat, die Öffnung der Bildnislinsen über das von dem Erfinder angegebene Maß hinaus zu steigern, um eine größere Lichtstärke zu erhalten, ist mir nicht bekannt; eine ziemlich starke Änderung der Strahlenvereinigung

im Sinne einer merkbaren Überbesserung wird die Folge gewesen sein, und man kann das Bewußtsein von einem solchen Fehler auch in den mehr oder weniger gewundenen Arbeitsanweisungen der Listen finden. Nach Herrn J. M. Eder (1. 4. 87) ist man in einem genauer bekannten Falle so vorgegangen, daß man die 24‴ entsprechenden Linsen auf Schalen schliff, die zu 21‴ Linsen gehörten, also eine Steigerung des Öffnungsverhältnisses im Verhältnis von 1 auf 1,14 vornahm. Auch dieser Mißbrauch ist von andern Betrieben übernommen worden. — Eine weitere Änderung hatte in der Einstellverschiedenheit ihren Anlaß. Da man mindestens seit 1852 nach Voigtländers Gebrauchsanweisungen [für Dreizöller?] durchschnittlich bei einer Dingweite von

$1^1/_4$ m um 4,4 mm
$1^1/_2$ m um 3,3 mm
2 m um 2,2 mm
$2^1/_2$ m um 1,1 mm die Linse herauskurbeln mußte,

so war es bequem, auf dem Rohrstutzen eine Teilung — wohl nach Wiener oder rheinländischen Linien [2,2 mm] — anzubringen. Die gleiche Anweisung findet sich übrigens auch 1857, obwohl damals doch noch der Fünfzöller hinzugekommen war. Da Voigtländer vom Jahre 1858 ab, wiederum Petzvals Vorgange folgend, seine Bildnislinsen mit photographischer Farbenzusammenlegung herausgab, so wird diese Stutzenteilung ganz von selber an neuen Stücken nicht weiter angebracht worden sein.



Vermutlicher Absatz Voigtländerscher Aufnahmelinsen in den ersten 25 Jahren ihrer Herstellung. (Die festgelegten Zahlen sind durch Ausziehuug kenntlich gemacht.)

Man wird annehmen können, daß um diese Zeit, nämlich den Übergang von den 50er zu den 60er Jahren, die wirtschaftliche Stellung des Voigtländerschen Betriebes besonders günstig gewesen ist: der Einfluß der englisch-amerikanischen Forschungen und Versuche wurde mindestens im Absatz noch nicht fühlbar, und der im Anschluß an diese Bestrebungen erwachsende und sie gleichsam vollendende heimische Wettbewerb war erst in Vorbereitung; darauf wird weiter unten noch einzugehen sein. Zum Belege für meine Aussagen und zur Verdeutlichung der Größe dieses Betriebes mögen die wenigen, mir sicher belegten Zahlen aus diesem Zeitraum zur Anlage eines Schaubildes verwandt werden; in der ersten Zeit zwischen 1841 und 58, wo mir keine Unterlagen bekannt geworden sind, habe ich durch Strichelung des Verlaufs seine nur auf geometrischen Überlegungen beruhende Natur ausgedrückt: in Wirklichkeit kann die Verteilung der Zunahme recht anders gewesen sein. Als Angestelltenzahl für die Geschäftsstellen Braunschweig und Wien zusammen findet sich in einem, wohl beeinflußten Aufsatze des mir unbekannten F. X. M. von 1865 die Angabe 80, was zur Vervollständigung des so entworfenen Bildes dienen mag. Daß sich unter den Einrichtungen des Braunschweiger

Betriebes auch damals schon zwei Senköfen für die Linsen befanden, sei hier hervorgehoben.

In der ruhigen Zeit des Ausgangs der 50er Jahre, genauer 1856, wird wie die photographische Welt im allgemeinen sicherlich auch Voigtländer durch die Nachricht von der neuen für Landschaftsaufnahmen bestimmten Linse Petzvals überrascht worden sein. Die genauere Untersuchung einer solchen Folge Ende 1857 zeigte ihm (14ε) „sogleich einen alten Bekannten", und er entschied sich denn, diese Anlage in seine Herstellung aufzunehmen. Die Anzeige erfolgte sehr rasch, die Preisliste mit den Orthoskopen ist im Monat Dezember 1857 gedruckt und enthält die allgemeine Angabe von Petzvals Berechnung, dagegen enthält die „im Dezember 1857" unterzeichnete Mitteilung „Orthoskopische Daguerreotypie-Apparate neuester Construction" keinerlei Hinweis auf den Erfinder. An der Tatsache der früheren Ausführung in Voigtländers Betriebe war ja nicht zu zweifeln — dabei ist hier die Änderung in der Farbenzusammenlegung zurückgestellt, die ihm zunächst sicher nicht bewußt geworden ist —, und auch nach den heutigen Anschauungen würde man sein deutliches Bewußtsein einer Vorbenutzung nicht angreifen. Daneben bestritt er aber auch öffentlich — ich vermag den Grund dazu nicht in Geschäftsmaßnahmen zu finden — Petzvals Bezeichnung der Linse als einer Neuheit und gab damit den Anstoß zu dem greulichen „Orthoskopstreit", zu dessen Besprechung wir uns nunmehr wenden müssen.

Petzval mag zunächst an sein Recht geglaubt haben, eine unzweifelhaft auf seine Arbeiten allein zurückgehende und bisher noch nicht veröffentlichte Verbindung als neu zu beschreiben, und jedenfalls auf seinen Bericht hin wies die Wiener Akademie den Abdruck des die Neuheit bestreitenden Aufsatzes Voigtländers im März 1858 zurück. Nun hätte ja zweifellos Petzvals letzte Angabe eines vergrößerten Linsenabstandes in seiner Bildnislinse (s. S. 449) den Anlaß zu einem wissenschaftlichen Streit bieten können, zumal Dietzler nach dem heutigen Stande unseres Wissens seine Bildnisfolgen weiter mit dem alten, kurzen Luftabstande zwischen den beiden Teilverbindungen herausbrachte, aber Voigtländer hat diesen, sehr wohl in Ruhe zu verfolgenden Weg nicht beschritten. Durch ein scharfes Schreiben Petzvals für eine englische Fachzeitschrift wurde nunmehr Voigtländers Behauptung einer Ausführung im Jahre 1840 abgeleugnet, und es kam zu dem heftigen Zusammenstoß, der weiter oben als der Orthoskopstreit bezeichnet wurde. Der schon einige Monate vorher für Petzval wirkende österreichische Fachmann P. Pretsch diente auch hier als Mittelsmann. War schon seine Tätigkeit in dem Vortrag vor einer wichtigen Londoner Gesellschaft anfangs Dezember 1857 wohl gut gemeint, doch für Petzvals Einführung in England wenig förderlich gewesen, so hätte er hier viel besser getan, wenn er dem bewunderten Bekannten den Rat gegeben hätte, zu schweigen: für einen öffentlichen Streit von Laien war Petzvals Sache so ungeeignet wie möglich. Die schroffe Ableugnung der nachweisbar richtigen Behauptung Voigtländers setzte ihn von vornhinein ins Unrecht, und auch wenn man etwa annimmt, daß er gemeint habe, die neue Form der Landschaftslinse mit dem schweren Kron sei Voigtländern unbekannt gewesen, so hätte er doch eine solche Deutung nur dann zum Siege führen können, wenn er mit besonderem Nachdruck den schönen Kunstgriff der Umlegung der Farbenvereinigung betont hätte, was er doch aus Geschäftsgründen nicht wollte. Und so machte Petzvals Führung seiner eigenen Sache einen ungemein peinlichen Eindruck; namentlich auf einen unbefangenen Laien, der von dem Glasersatz nichts weiß, müssen Petzvals Äußerungen geradezu abstoßend wirken. Sein Vorgehen im Streit erscheint unzuverlässig und unaufrichtig, und sein ungemeines Geschick für spitzfindigen Wort-

kampf und ätzenden Hohn, das auch Voigtländer (2α) als eine ganz gefährliche Waffe anerkannt hat, macht ihn nicht achtungswerter. Man muß, um überhaupt eine Erklärung zu haben, immer daran denken, daß hier sechzehnjähriger Grimm und Groll Stimme gewann, und daß dem Wiener Gelehrten offenbar gute Freunde fehlten, die ihm von einer solchen, die Achtung für ihn geradezu mordenden Streitführung ganz entschieden abgeraten hätten.

Was Voigtländern überhaupt zu dem Streit führte, ist, wie schon oben angedeutet, unklar, da ihm ja die Vorbenutzung auch nach dem heutigen strengen Brauch in Patentsachen nicht verwehrt werden konnte, und fürs Geschäft doch schwerlich etwas darauf ankam, ob Petzval seine Erfindung 1840 oder 1856 gemacht hatte. Er ist wahrscheinlich durch den berechtigten Ärger über seines Gegners in der Darstellung weit überlegene Angriffe und durch die Verletzung seines Selbstbewußtseins fortgerissen worden — man möchte das beispielsweise aus seiner ganz verschiedenen Beurteilung von Petzvals Berechtigung schließen, die eigene Erfindung ausführen zu lassen (13 Z. 16—17 v. u. im Gegensatz zu der späteren Äußerung 6 Z. 14 v. o.), so daß nun auch er aus den Schranken brach und auspackte, was er nur Ungünstiges von Petzval selber erfahren oder von andern gehört hatte. Mit dem Dichter zu reden gehörten die Erinnerungen an seinen Gegner in das Kehrichtfaß oder in die Rumpelkammer, und diese ganz ungemein schwarze Wäsche wurde in der englischen Presse gewaschen, während für Frankreich die Öffentlichkeit glücklicherweise noch ausgeschlossen werden konnte. Vor dem Richter hatte Voigtländer ohne jede Frage die bessere Sache, und ich möchte jeder tatsächlichen Angabe in seinen Briefen die Wahrheit, zum mindesten aber den guten Glauben, zuschreiben. Dennoch aber wirkt sein Verfahren kaum weniger abstoßend als das seines Gegners. Wenn man beachtet, wie er sich lange Jahre zugestandenermaßen in allen optischen Dingen an seinen großen Mitarbeiter gehalten hatte, dessen Verdienste um das Gedeihen seines eigenen Hauses (77δ) nicht einmal von ihm bestritten werden konnten, so wirken die Andeutungen (81/3) sehr befremdend, daß Petzval nur in der Verbindung mit ihm bedeutende wissenschaftliche Leistungen aufzuweisen habe. Aber wenn Voigtländer auch (2β) den Orthoskopstreit bedauerte, seine eigene Stellungnahme darin hat er so wenig mißbilligt, daß er den ganzen üblen Briefwechsel (soweit englisch geführt auch mit deutscher Übersetzung daneben) als Sonderschrift herausgab und auf dieses eigenartige Denkmal in seiner Mitteilung an Poggendorffs Handwörterbuch sogar noch besonders hinwies. Für uns Spätere erscheint der ganze Streit mit all seinem Gift und Geifer noch darum besonders bedauerlich, weil die Landschaftslinse (das Orthoskop) bestimmt nicht zu den hervorragenden Leistungen Petzvals zählt, und — nur vom geschäftlichen Standpunkt beurteilt — den ganzen Streit schwerlich wert war, denn sie ist verhältnismäßig bald vom Schauplatz verschwunden. Voigtländer mit seiner großen Erfahrung als ausführender Optiker hatte sich offenbar durch den Lärm täuschen lassen, den einige Fachleute einer nach neuen Aufnahmelinsen begierigen Zeit von dieser Anlage gemacht hatten. Wenn er wirklich, was nach F. X. M. und nach den Wurzbachschen Angaben möglich scheint, Petzval auch noch einen Prozeß wegen mangelnder Neuheit seines Privilegiums angehängt hat, so wird er ihm damit weniger wirklichen Schaden zugefügt als mehr eine weitere handgreifliche Bestätigung der ihm geläufigen Auffassung von der Dankbarkeit des Beschenkten gegeben haben.

Selbstverständlich war nunmehr an eine Annäherung beider Fachmänner nicht mehr zu denken, und Petzval hat auch wohl vor der Öffentlichkeit den Namen seines Gegners nicht mehr gebraucht. Voigtländer gelobte zwar 1858 (85β) nach

einiger Zeit für die Werbetätigkeit den Namen Petzval vor den Objektiven aus seiner Preisliste verschwinden zu lassen, hat ihn aber für seine Mitteilung an Poggendorff 1861 und 1868 bei seinem Abschiede von Wien für seine Erzeugnisse verwandt; seine Preislisten aus dieser Zeit sind mir nicht in irgendwelcher Vollständigkeit vor Augen gekommen. Übrigens behielten, wie schon oben bei Petzval bemerkt wurde, beide Gegner eine angesehene Stellung in den Kreisen der Wiener photographischen Gesellschaft, deren Mitglieder, wie es der öfter angeführte F. X. M. beweist, mindestens zu einem Teil die Kunst verstanden, gleichzeitig heiß und kalt zu sein.

Nicht lange nach dieser uns heute noch fühlbaren Erschütterung hat sich allmählich die Lage auf dem photographischen Markt geändert. Es kam eben die Zeit, wo die beiden alten Anlagen, die Landschaftslinse französischer Form und die Petzvalsche Bildnislinse, nicht mehr alle Bedürfnisse des Photographen befriedigten. Wäre A. S. Wolcott am Leben geblieben, so hätte er wahrscheinlich die Leitung übernommen und ziemlich rasch symmetrische Anlagen herausgebracht, um der photographischen Nachbildung ebener Vorlagen zu dienen. Da ein solcher ungewöhnlich überlegener Führer fehlte, leistete einen Teil der notwendigen Arbeit in den Jahren 1857 bis etwa 1864 das bewundernswürdige Zusammenwirken englischer Fachmänner und Liebhaber, aus denen wir die nach den Anfangsbuchstaben geordneten Namen R. H. Bow, J. H. Dallmeyer, Th. Grubb, Th. Ross, J. Rothwell, G. Shadbold, Th. Sutton hervorheben müssen. Die Bewegung griff rasch nach Nordamerika über und förderte dort als eine Anlage von ziemlich weiter Verbreitung die Kugellinse von C. C. Harrison und J. Schnitzer ans Licht. Unter den englischen Häusern aber kam besonders ein neues, von dem aus Westfalen eingewanderten J. H. Dallmeyer begründetes und mit Eifer und Geschick geleitetes Unternehmen in die Höhe.

Auch in Deutschland behielt die Voigtländersche Werkstätte kaum die alte, unbestritten große Überlegenheit über ihre Mitbewerber. Der rührige E. Busch, der es in jungen Jahren verstanden hatte, dem damals etwas versteinerten Dunckerschen Betriebe rasch neue Tatkraft und neuen Lebenswillen einzuflößen, muß hier in seiner Geschäftsweise auf photographischem Gebiete ein wenig eingehender betrachtet werden. Schon oben war darauf hingewiesen worden, daß der Rathenower Industrieanstalt frühe Betätigung auf diesem Gebiete (die wahrscheinlich auf seine Anregung zustande gekommen war) mit sehr merklicher Unterbietung der Voigtländerschen Preise arbeitete. Daß man damals in dem noch weniger bedeutenden Dunckerschen Brillenbetriebe die Linsen mit rückständigen Verfahren gestaltete (beispielsweise noch nicht das Schleifen auf Körpern eingeführt hatte, das in der Voigtländerschen Werkstatt sicherlich seit 1808 geübt wurde), wird dazu beitragen, diese Neigung zu erklären, sich Kundschaft durch Unterbietung zu verschaffen. In den dreizehn oder vierzehn Jahren, wo wir ohne eingehende Kenntnis von Buschens Vorgehen auf unserm Gebiete sind — wir wissen nur, daß er 1851 auf der Londoner Weltausstellung auch Objektivköpfe vorführte —, hat sich jedenfalls das Streben ungeschwächt erhalten, durch den Reiz der billigen Preise zu wirken, denn die oben mitgeteilten, für den Juni 1857 gültigen Zahlen belegen diese Aussage. Wäre noch ein weiterer Beleg nötig, so könnte man ihn aus dem Krügerschen Vademecum (55/6) ableiten, wo in deutlichem Gegensatz zu dem wörtlich angeführten Fachmann W. Horn und mehr kühn als folgerichtig der Ruhm der Buschischen Linsen gesungen wird.

Wendet man sich zu dem Wenigen, was über diesen in den 50er Jahren auftretenden Wettbewerber bekannt ist, so mag man aus dem Umfang seiner Preisliste von der Mitte des Jahres 1857 auf eine längere Wirksamkeit und einen größeren

Kundenkreis schließen: die photographischen Waren werden seit 1844 kaum aus den Rathenower Listen verschwunden sein, wenngleich man dort wohl auf die Ausbildung des recht großzügig zu gestaltenden Feldstechergeschäfts zunächst größeren Wert gelegt hat; ganz bestimmt kann man eine Mehrzahl von photographischen Preislisten vor dem Juni 1857 annehmen. Die Vertrautheit mit dem photographischen Gebiet und einen einigermaßen zur Schau getragenen Gegensatz zu der großen Braunschweiger und Wiener Werkstätte möchte ich schon aus einzelnen mir aufgefallenen Gewohnheiten entnehmen. Hierzu möchte ich den Gebrauch des Fachausdrucks „Kopf“ für die Aufnahmelinse in ihrer Fassung rechnen; in dieser Weise wird nicht nur die Bildnislinse aus zwei Gliedern bezeichnet, sondern auch die nur eingliedrige Landschaftslinse. Als eigenartig habe ich auch die klar ausgesprochene Bestimmung der Brennweite empfunden, denn wir würden heute dafür Schnittweite sagen. Daß die Bedenklichkeit einer solchen Angabe nicht sofort durch die Vergleichung der Bildgrößen entdeckt wurde, wie sie die zwei ganz verschiedenen Anlagen der Petzvalschen Doppel- und der Landschaftslinse lieferten, läßt sich nur durch den Rückschluß auf eine betrübend niedrige Beschlagenheit des durchschnittlichen Käufers erklären.

Seit wann Busch mit Linsenfolgen ohne Einstellverschiedenheit auftrat, ist mir nicht bekannt; bei seinen Beziehungen zum westlichen Ausland hätte er das recht wohl seit dem Anfang der 50er Jahre tun können, und ganz sicher haben später englische Linsenanlagen Eindruck auf ihn gemacht. Ich kenne die Änderung der Farbenzusammenlegung bei ihm erst aus der öfter angeführten Liste vom Juni 1857, wo ausdrücklich von „Objektiven neuester Construction, ohne Focus-Differenzen“ gesprochen wird. Wurden diese wirklich erst im Juni 1857 eingeführt, so ist es denkbar, daß auch diese Anregung auf Petzval zurückgeht, der ja schon seit 1854 seine Bildnislinse von C. Dietzler ausführen ließ und vermutlich schon damals die Farben zweckmäßiger zusammengelegt hatte als 1840. Jedenfalls kann man auf ein bemerkenswertes Selbstbewußtsein aus der Tatsache schließen, daß in der gleichen Veröffentlichung (dem Krügerschen Vademecum von 1858) Busch einen Standpunkt vertrat, der dem von Voigtländer eingenommenen (Krügers Vademecum IV-V) geradezu entgegengesetzt war. Da sehr bald auch Voigtländer seine veralteten Ansichten aufgab, so wird ein solcher Widerruf dem rührigen Wettbewerber recht erfreulich gewesen sein: konnte er doch darauf hinweisen, daß er jener berühmten Anstalt in dieser Entscheidung zuvorgekommen sei. Deutsche Ankündigungen Voigtländers zur Hebung der Einstellverschiedenheit in seinen Doppellinsen kenne ich nicht; dagegen hat der mit ihm gut vertraute A. Bertsch 1859 vor der französischen photographischen Gesellschaft Voigtländern ein Verfahren dafür zugeschrieben, das mit dem J. Petzvals (s. a. S. 452) übereinstimmt, wie es durch die Nachmessung eines frühen Stückes Dietzlerscher Herkunft belegt ist.

Aber auch in einer andern Hinsicht ging Busch über den Braunschweiger Fabrikanten hinaus: in den immer wachsenden Linsendurchmessern seiner Bildnislinsen. Während Voigtländer 1857 seine neuen Fünfzöller anbot, wo der Linsendurchmesser 13,2 und die Brennweite $57^1/_2$ cm betrugen, setzte Busch zu gleicher Zeit Sechs- und Siebenzöller in seine Liste, wo die Öffnungen 15,7 und 18,3 cm maßen, während die [wahren] Brennweiten gegen 70 und 80 cm erreicht haben werden. Man staunt heute mit vollem Recht über die damalige Leidenschaft der ausübenden Photographen für Bildnis-Aufnahmen in großem Maßstabe, aber man kann verständlicherweise dem Leiter eines optischen Betriebes daraus keinen Vorwurf machen, daß er diesen ihm sehr erwünschten Hang beförderte. Die Rathenower Preise für die ver-

gleichbaren Größen der Bildnislinsen waren oben angegeben worden; hier sei noch erwähnt, daß die Sechszöller 350 und die Siebenzöller 500 Tlr. kosteten. Der Preisangabe muß eine ziemlich eingehende Kostenveranschlagung vorausgegangen sein, denn diese Preise lassen sich mit ziemlich geringen Abweichungen nachträglich durch den Ausdruck $P_k = k^{2,5} \cdot 11$ Tlr. angeben, wenn man mit k das Größenverhältnis bezeichnet, in dem die einzelnen Bildnislinsen zu dem Anderthalbzöller stehen.

In der Tat erhält man so die folgenden Formelpreise P_k in Talern:

11,0 22,6 62,2 127,8 223,2 352,0 517,5,

denen die wahren Listenpreise gegenüberstehen

11 22 75 135 240 350 500.

Wahrscheinlich würde man, wenn man nicht von der kleinsten, sondern von einer mittleren Größe ausginge, die Güte der Formel-Anpassung noch steigern können, aber schon hieraus wird hervorgehen, daß bei der Unterbietung nicht allein nach Willkür verfahren wurde.

An den neuen englischen Versuchen nahm Busch in den 60er Jahren nicht allein durch Drillingslinsen teil, die den Dallmeyerschen ähnlich gewesen zu sein scheinen, sondern auch durch eine Weiterbildung der amerikanischen Kugellinse. Ihm gelang es mit tastenden Versuchen in seinem Pantoskop eine solche Durchbiegung dieser Anlage, daß sie ein anastigmatisch geebnetes Feld von bemerkenswerter Ausdehnung bei völliger Freiheit von Verzeichnung erhielt. Freilich war die Möglichkeit, gleichzeitig auch die Kugelabweichung zu heben, gänzlich geschwunden. Wie es scheint, ist diese Form 1866 herausgebracht worden, wohl die einzige leistungsfähige Erfindung im photographischen Gebiet, auf die das englische Verfahren tastender Versuche in Deutschland geführt hat.

Wenden wir uns zurück zu der Braunschweiger Werkstätte und namentlich zu dem am 7. III. 1846 geborenen Nachfolger, Friedrich v. Voigtländer, so hat er, wie das in der Familie üblich war, zunächst im heimischen Betriebe eine eingehende Schulung erhalten und wurde dann ins Ausland geschickt. Hr. H. Harting hat in seinem auf diesen letzten Voigtländer abgefaßten Nachruf berichtet, daß er zu weiterer Ausbildung in den ursprünglich Oberhäuserschen Betrieb eintrat, dessen Begründer uns durch Hrn. A. Seitzens Mitteilungen (an die *Centr.-Ztg. f. Opt. u. Mech.* ***44.*** *S. 141, 214, 1923*) als Mensch und als Optiker näher gerückt worden ist. Als Fr. v. Voigtländer dort eintrat, war das Geschäft wohl schon an G. Oberhäusers Neffen E. Hartnack übergegangen, und der neue Inhaber hatte bereits seine engere Verbindung mit dem 1863 aus Warschau geflüchteten Astronomen A. Prazmowski angeknüpft, der den alten Betrieb später von ihm erwerben sollte. Wenn man daran denkt, daß die Oberhäusersche Werkstätte große Verdienste um die Ausbildung des heutigen festländischen Mikroskopstativs hat, und daß auch der junge Voigtländer an einem solchen Stück seine Sporen verdiente, so möchte man fast an die Absicht in dem Braunschweiger Hause glauben, die lange zurückgestellte Herstellung von Mikroskopen nunmehr im Ernst aufzunehmen.

Als Friedrich v. Voigtländer aus der Fremde heimkam, wird er merkliche Änderungen vollzogen oder in Vorbereitung gefunden haben, die uns nicht allein durch die endgültige Aufgabe der Wiener Geschäftsstelle im Jahre 1868 deutlich werden. Hr. H. Harting [155] berichtet, daß der Nachfolger tatsächlich die Leitung des Geschäfts übernommen habe, und diese Aussage wird ganz bestimmt für die regelmäßige Überwachung der Herstellung zutreffen. Dagegen möchte ich glauben,

daß sich sein Vater Wilhelm Friedrich einen entscheidenden Einfluß auf die Aufnahme von Neuheiten vorbehalten habe, worauf weiter unten noch einzugehen sein wird.

Besondere Aufmerksamkeit wird man damals der neuen Münchener Anstalt geschenkt haben, die sich, was Neuerungen betraf, auf photographisch-optischem Gebiet für Deutschland unbestritten die Führung errungen hatte. Wir müssen darauf etwas näher eingehen, da sie zu der Umwelt des für diesen Aufsatz im Mittelpunkt stehenden älteren Betriebes gehört.

Carl August [v.] Steinheil (* 1801, † 1870) hatte schon lange einen hervorragenden Namen als optischer Fachmann, und wir können seine durch langjähriges Zusammenarbeiten gefestigten Beziehungen zu L. Seidel (* 1821, † 1896) bestimmt bis auf das Frühjahr 1846 zurückverfolgen.

Die optisch-astronomische Werkstätte, die Steinheil im Mai 1855 in München begründete, beschäftigte sich zunächst nur mit Fernrohren, griff aber in der letzten Zeit seiner Leitung auch auf das photographische Gebiet über und brachte 1865 den symmetrischen Weitwinkel „das Periskop“ aus zwei Einzellinsen heraus. Das Aufsehen, das diese Neuheit erregte, war sehr groß, und man kann es heute am besten daran abschätzen, daß sich W. Fr. Voigtländer 1865 dafür die Herstellerlaubnis sicherte. Er hat bestimmt noch 1868 solche Weitwinkellinsen angeboten.

Als Rechenmeister hatte C. A. Steinheil seinen älteren Sohn Hugo Adolf (* 1832, † 1893) ausgebildet und ihn namentlich in der letzten Zeit, als man an die Bearbeitung des photographischen Gebiets dachte, von L. Seidel in der rechnerischen Verfolgung schiefer Bündel von endlicher Öffnung schulen lassen.

Als sich nun C. A. Steinheil um das Ende des Jahres 1865 von diesen Arbeiten zurückzog und das von ihm begründete Geschäft in die Hände seiner beiden Söhne übergehen ließ, mag bei diesen schon von Anfang an der Wunsch bestanden haben, das neue Gebiet der Aufnahmelinse besonders zu pflegen. Begünstigt wurde dieser Plan durch Beziehungen, die sich in dieser Zeit mit dem belgischen Fachmann D. van Monckhoven (* 1834, † 1882) und H. A. Steinheil knüpften und im Jahre 1866 und wohl noch 1867 ziemlich eng gewesen sein müssen. Steinheil erfuhr offenbar sehr früh Einzelheiten von seines Bekannten optisch-theoretischen Kenntnissen und Ansichten: dieser brachte ja 1866 das erste Buch über die optische Anlage und Leistung der Aufnahmelinse heraus. Als schöne und vielversprechende Frucht des Gedankenaustausches über Anforderungen an eine jener Zeit nötige Aufnahmelinse allgemeinster Gebrauchsfähigkeit entstand aus Steinheils Rechnungen noch im Sommer 1866 eine symmetrische Doppellinse, die den Namen Aplanat erhielt. D. van Monckhoven ward mit der Unterbringung dieser Anlage in England betraut und hat diese Verhandlungen bis in den Winter 1866/67 hinein, leider erfolglos, geführt.

Und nun stehen wir vor einer geradezu wunderbar fruchtbaren Betätigung H. A. Steinheils auf photographischem Gebiet: in den 15 Jahren von 1866 bis 81 hat er in unermüdlicher Arbeit das Gebiet hauptsächlich der Doppellinsen mit Innenblende und vier Flächen gegen Luft behandelt, die er alle — der heutige Sprachgebrauch ist etwas enger — als Aplanate bezeichnete. Ja, am Schluß hat er ihnen in seinen Antiplaneten noch eine neue Gruppe angeschlossen. Ganz ohne jede Frage war der Fortschritt im Bau von Aufnahmelinsen nach München übergegangen, wie ja der dritte Abschnitt der Entwicklung der Aufnahmelinse im wesentlichen von den Erfolgen der Steinheilschen Rechenkunst handelt. Hier wurde in dem symmetrischen Aplanat der vielseitig verwendbare Mittelwinkel geschaffen; in welchem Umfange die wunderbar vollständig durchgearbeiteten Doppellinsen großer Öffnung bei den Bildnisphotographen

Eingang fanden, entzieht sich meiner Kenntnis, wie ja überhaupt für den Geschichtsschreiber einigermaßen sichere Unterlagen für die Ausdehnung eines gewerblichen Unternehmens auf unserem Gebiete besonders schwierig zu beschaffen sind.

Vielleicht muß hier noch bemerkt werden, daß die Steinheilsche Anstalt Schwierigkeiten nur in England gefunden zu haben scheint. Dort hatte 1867 J. H. Dallmeyer in eine schwerlich haltbare Neufassung seines umfangreichen, auch eine sehr bemerkenswerte Umformung von Petzvals Bildnislinse enthaltenden Patents einen Anspruch aufgenommen, der den Absatz der Steinheilschen Doppellinsen in England wohl hindern konnte. Daran hat sich sehr bald ein, bedauerlicherweise auch mit dem früheren Freunde und Vertrauensmanne D. van Monckhoven zu führender, Meinungsaustausch angeschlossen, der diesen Fachmann in keinem besonders günstigen Lichte erscheinen läßt. Es hat ziemlich lange gedauert, bis in der ersten Hälfte der 70er Jahre englische Wettbewerber — hier ist namentlich F. H. Wenham (*1824, †1908) von dem alten, inzwischen in andere Hände übergegangenen Rossischen Hause zu nennen — die zuweit getriebenen Ansprüche Dallmeyers mindestens tatsächlich einschränkten, doch hat H. A. Steinheil an diesem Kampf in englischen Fachblättern keinen persönlichen Anteil genommen, so lebhaft sich auch seine ungemein tatkräftigen Londoner Vertreter dafür einsetzten.

Verständlicherweise muß diese Tätigkeit der Münchener Werkstätte, die bald ja auch von dem neu gegründeten deutschen Patentamt Gebrauch machte, auf die deutschen Wettbewerber im allgemeinen und nicht zum mindesten auf das Voigtländersche Haus gewirkt haben. Aber obwohl der Aplanat in deutschen Landen nur durch ein bayrisches Patent geschützt worden war, ist, soweit meine Kenntnis reicht, zu Lebzeiten W. Fr. Voigtländers keine auf gleichem Grunde erbaute Anlage herausgebracht worden, was für das Braunschweiger Haus vielleicht durch das freundschaftliche Verhältnis zu erklären ist, in dem die beiden Betriebe infolge der Periskopangelegenheit zueinander standen.

Wenden wir uns nunmehr zu dem Jahre 1868 zurück, wo der damals 56jährige Leiter des Betriebes in dem gleichen Alter wie sein Vater die alleinige äußere Leitung aufgab, so traten, wie auch die Wurzbachsche Quelle angibt, die beiden Stiefbrüder, der damals 22jährige Friedrich v. Voigtländer als Mitinhaber und der 31jährige Mathematiker Hans Zincke gen. Sommer als Rechenmeister, in eine besonders wichtige Stellung ein. Daß der Letztgenannte für ein solches Amt von langer Hand her bestimmt war, kann man schon aus seiner Doktorarbeit vom Jahre 1859 entnehmen, die sich mit der Messung der Brechung optischen Glases beschäftigte. Daß er sich später im Nebenamt als Rechner für die ihm so nahe stehende Anstalt betätigt hat, ist an sich verständlich und ist früher schon von A. Claudet und Ch. Fabre ebenso wie neuerdings von Hrn. H. Harting bestätigt worden.

Dem alten Betriebe wurde auch auf dem Fernrohr-Gebiete [155] eine Anregung zuteil durch Johann Joseph Pohl (*1825, †?), der ihm 1868 die Umkehrung durch Spiegelprismen für Einzelrohre nahebrachte. Natürlich soll an der Selbständigkeit Pohls hier in keiner Weise gezweifelt werden, aber es ist nicht anzunehmen, daß gerade diese Anregung des einäugigen Prismenfernrohres mit einer Strichplatte im Okular für den Heeresgebrauch dem Braunschweiger Hause sehr überraschend gekommen ist.

Geht man zur besseren Kennzeichnung der Lage auf die Geschichte der Prismenumkehrung ein, so finden sich dazu einige Hinweise bei H. Erfle (in Czapski-Eppenstein III. Aufl. 590). Inzwischen sind unsere Kenntnisse noch durch die Mit-

teilungen über Carl Mittelstraß *(D. Opt. Wochenschr. 1923.* **9.** *S. 353)* von 1862 und E. Busch (s. die Nachweise in der *Centr.-Ztg. f. Mech. u. Opt. 1925.* **46.** *S. 136)* von 1865 erweitert worden. Man kann danach sagen, daß, auch wenn C. A. Steinheil bereits in den 30er Jahren des vorigen Jahrhunderts das Porrosche Umkehrprisma 2. Art gekannt haben sollte, er es nicht veröffentlichte, und daß eine Kenntnis dieser Prismenverbindungen erst auf I. Porro und das Jahr 1850 zurückgeht. In Paris hat sich der Glaube an diese Anlage am Leben erhalten, und namentlich J. G. Hofmann hat dort lange Zeit hindurch derartige Einzelrohre mit einer Strichplatte im Okular zur Entfernungsbestimmung hergestellt. Ein solches Stück (Nr. 554) ist 1862 von dem sehr regsamen Ladenoptiker C. Mittelstraß gekauft worden, und 1865 hat nach Angaben von Hrn. K. Albrecht auch E. Busch Versuche mit einem solchen Gerät gemacht. Daß die Pariser Weltausstellung von 1867 weiter in diesem Sinne wirkte, ist ganz sicher, und ich halte es für unbestreitbar, daß ein bekannter und geschätzter Fachmann, wie W. Fr. Voigtländer, schon lange vor 1868 über diese Möglichkeit unterrichtet gewesen ist. Ich glaube viel eher, daß seine allgemein kritische Stellung zu Neuheiten durch seine Behandlung dieser Aufgabe ebenfalls belegt wird. Übrigens blieb ja auch E. Abbes einschlägiger Versuch von 1873 zunächst ohne weitere Folgen, wie sich ferner auch C. Nachets beidäugiges Prismenfernrohr von 1875 nicht wirklich hat einführen lassen. Daß in der Tat zur Entwicklung der großen Möglichkeiten dieser Anlage die Herstellung von besonders klarem Glas und die möglichste Trennung der dingseitigen Achsen nötig war, wird kaum bestritten werden, wenn man sich der Entwicklung dieser Geräte seit 1893 erinnert. 1868 war eben die Zeit noch nicht erfüllt, und man darf sich über das Ausbleiben des Erfolges auf diesem Gebiet nicht wundern.

Daß Pohl auch noch Lupen angab, wird man ebenfalls mit Dank Herrn Hartings [155] Mitteilungen entnehmen.

An dieser Stelle wird man in der vorliegenden Darstellung eine kurze Würdigung Wilhelm Friedrich Voigtländers erwarten können. Er hat zweifellos sein Haus in den Kreis der deutschen optischen Werkstätten von Weltruf eingeführt und durch ungemeine Sorgfalt in der Ausführung und wohl auch durch eine nicht gewöhnliche kaufmännische Begabung in einer allgemein geachteten Stellung erhalten. Die glänzende Lage, die sich ihm durch Petzvals Mitarbeiterschaft auftat, hat er nur kurze Zeit ausgenutzt und die Möglichkeit versäumt, den als Fachmann von ihm wohl hochgewerteten Mann zu einer wahren Arbeitsgemeinschaft zu gewinnen. Die Aussichten, die sich ihm in den 60er und 70er Jahren durch die nicht gewöhnlichen Gaben seines Stiefsohnes boten, hat er ebensowenig verwertet, im Gegenteil wohl sogar den Anstoß dazu gegeben, daß sich eine eingearbeitete und durchaus nicht erfindungsarme Kraft von dem Betriebe löste.

Leider ist unsere Kenntnis von dem persönlichen Verhältnis zwischen den beiden Voigtländers und H. Zincke-Sommer ungemein oberflächlich, und auch hier wieder erfahren wir überhaupt erst von Herrn Harting [156], daß es zwischen Wilhelm Friedrich und seinem Stiefsohn (bald nach 1872?) zu einem Bruch kam[1]). Im übrigen sind wir auf Rückschlüsse angewiesen. Versuchen wir, uns die Hemmungen vorzustellen, die den Rechenmeister verstimmt haben werden. Es lagen von ihm vor

[1]) Wie ich im Gespräch von Herrn H. Harting hörte, wird er in nächster Zeit noch Mitteilungen zu der Geschichte von H. Zincke gen. Sommer als Optiker machen können, der auch am astronomischen Okular wichtige Neuerungen einzuführen gesucht hat. Ich hoffe, wenn diese Mitteilungen vorliegen, einen kurzen Bericht darüber einsenden zu können.

1. 1870 eine ganz lichtstarke Bildnislinse etwa von Dallmeyerscher Anlage mit 1:2,4;

2. vor 1872 Arbeiten an dem Euryskop [155];

3. 1872 eine bemerkenswerte Doppellinse mit Innenblende und 8 Flächen gegen Luft [155/6];

4. nach 1875 [?] eine Umänderung der Bildnislinse nach der Dallmeyerschen Umstellung mit verkittetem Hinterglied. Es wäre denkbar, daß der schöne Erfolg H. A. Steinheils mit der 2. Form seines Porträt-Aplanats 1875 einen Einfluß auf solche Bestrebungen gehabt habe. Ich will damit aber nicht etwa andeuten, daß Zincke-Sommer in den Einzelheiten seiner Berechnung abhängig von Steinheil gewesen wäre.

Man wird verstehen können, daß sich schon ein Groll entwickeln konnte, namentlich, wenn man dem Rechenmeister eine solche Kenntnis der Lage des Marktes zuschreibt, daß ihm die frühe Einführung von 2. als durchaus geboten erschien, und er des Glaubens gewesen sein mag, daß auch ihm freistünde, was um diese Zeit F. H. Wenham bei Ross & Co. in aller Öffentlichkeit tat und verteidigte.

Als nun 1876 Friedrich v. Voigtländer wirklich ans Ruder kam, war es möglicherweise schon zu spät, den Riß zu füllen, und ich vermag nur zu sagen, daß in dieser Zeit 1. gar nicht, 2. 1877, 4. 1878 herausgebracht wurden, während man mit 3. 1878/9 leider nur einen schüchternen Versuch machte, der keine Folgen hatte; wie auch Herr Harting [156] meint, weil man an der großen Zahl der Flächen gegen Luft Anstoß nahm.

Daß die fast vollständige Ablehnung in Wilhelm Friedrichs Stellungnahme gelegen haben muß, und daß sein Nachfolger sie nicht in gleichem Maße teilte, werden auch diese Rückschlüsse lehren. Jedenfalls hat sich der in seinem Nebenberuf als optischer Berater nicht vom Glück begünstigte Rechenmeister im Jahre 1881, 44 Jahre alt, zurückgezogen und sich für die weiteren Jahre seines langen Lebens der Musik zugewandt, worüber die soeben erschienenen Schemannschen Lebenserinnerungen einige ansprechende Mitteilungen machen.

Mit diesem Abschnitt in der Entwickelung des Voigtländerschen Hauses sei unsere Darstellung geschlossen: einmal ist mir von den weiteren Schicksalen der Braunschweiger Anstalt in den 80er und 90er Jahren heute nicht wesentlich mehr bekannt als in meiner früheren umfangreichen Darstellung, und ferner würden vermutlich die Gefühle der aus dieser Zeit noch lebenden Zeugen verletzt, wollte man, wie es bis hierher versucht wurde, vorbehaltlos die Geschichte schildern, die ja dem Außenstehenden in der Rückschau häufig anders erscheint, als den an dem Betriebe beschäftigten Fachleuten.

Ein elektrischer Mikrotaster zur Zentrierung einer Kristallfläche in der Achse eines Spektrometers.

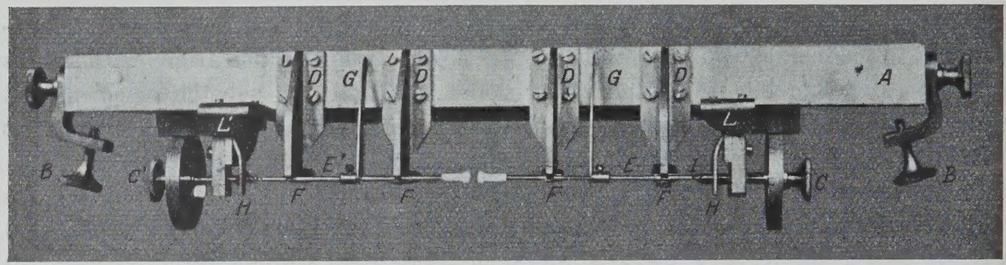
Von
L. Biermaß in Amsterdam.
(Mitteilung aus dem physikalischen Laboratorium zu Amsterdam, Direktor Prof. R. Sissingh.)

Wie bekannt, kommt beim Siegbahnschen Röntgenspektrographen[1]) diese Zentrierung dadurch zustande, daß eine Elfenbeinspitze mit Hilfe eines Mikroskopes

---

[1]) M. Siegbahn, Spektroskopie der Röntgenstrahlen. Berlin 1924. Julius Springer.

genau in die Drehachse des Spektrometers eingestellt wird und der Moment der Berührung der Kristallfläche mit der Elfenbeinspitze ebenfalls mit dem Mikroskope bestimmt wird. Siegbahn gibt an, daß auf diese Weise eine Genauigkeit von 0,001 mm erreicht wird. Beim Arbeiten mit einem Siegbahnschen Spektrographen stellte es sich aber heraus, daß die berechneten Wellenlängen bei verschiedenen Zentrierungen der Kristallfläche um einige X-E. differierten[1]). Dies veranlaßte die Konstruktion eines elektrischen Mikrometertasters, die eine genauere Zentrierung ermöglichte. Beim Gebrauch dieses Tasters stimmen die berechneten Wellenlängen in Tausendstel einer Ångström-Einheit miteinander überein. Außerdem wurde mit dem elektrischen Taster ein Fehler des Spektrometers aufgedeckt, wovon am Ende noch berichtet wird.



Die Figur zeigt den elektrischen Mikrometertaster in Ansicht. Auf dem Winkelmessingstabe A, der außerdem an verschiedenen Stellen in der Ecke verstärkt ist, sind die vier T-förmigen Messingstücke D festgeschraubt. In den V-förmigen Nuten ruhen die beiden Taster E und E', welche von den kleinen Federn F leise geklemmt werden, so daß die Taster in der Richtung ihrer Länge ein wenig verschoben werden können. Die beiden Flügel G, welche auf den Stab A anliegen, sorgen dafür, daß die beiden Taster sich um ihre Achse nicht drehen können. Es wird dies in der Folge näher erklärt. In der Verlängerung der beiden Taster befinden sich die Mikrometerschrauben C und C' mit einer Trommelteilung und einer Längsteilung L und L' für die ganzen Umdrehungen. Bei der Ablesung der Trommelteilung soll das Auge die Kante von $L\,(L')$, welche senkrecht steht zur Trommelfläche als gerade Linie, parallel den Teilstrichen der Trommelteilung sehen. Dies ermöglicht eine Ablesung der Mikrometerschraube in 0,001 mm. Die beiden, ein wenig federnden Ansatzstücke H, in denen ebenfalls ein Muttergewinde eingeschnitten ist, dienen dazu, den toten Gang der Schrauben zu beseitigen. Die Mikrometerschrauben sind zylindrisch angebohrt. In der Bohrung befindet sich zentrisch ein kleiner Zylinder mit einem Platindraht, in der Achse des Zylinders befestigt. Der Zylinder wird von einer schwachen Feder, ebenfalls in der Bohrung der Mikrometerschraube angetrieben. Der Platindraht tritt aus der Bohrung der Schraube heraus, aber nicht der Zylinder, in welchem er befestigt ist. Dies wird durch eine Füllung I in der Bohrung der Mikrometerschraube verhindert. Das abgerundete Ende des Platinstifts kann gegen die mit Platin belegte Endfläche des Tasters drücken, deren anderes elfenbeinernes Ende ebenfalls abgerundet und mit einer kleinen planen Endfläche von 0,5 mm Durchmesser versehen ist. Die oben schon erwähnten Flügel G dienen dazu, daß der Kontakt zwischen den Platinstiften und den Endflächen der Taster immer auf dieselbe Weise zustande kommt.

Zur Justierung der Kristallfläche wird der Apparat mit den Schrauben B auf den Rand des Vakuumgefäßes des Spektrographen befestigt, so daß die Achse der

[1]) Eine X-Einheit = 0,001 Ångström-Einheit.

beiden Taster die Drehachse des Spektrometers ungefähr in die Mitte der Kristallfläche schneidet. Mittels eines Striches, entlang A auf den Rand gezogen, kann man später diesen Stand ganz leicht innehalten. Um einer Beschädigung der Platinstifte vorzubeugen, dreht man die Mikrometerschrauben C und C' zurück und entfernt die beiden Taster E und E' aus den Nuten F. Nachdem die Kristallfläche mit einem planparallelen Glasstreifen parallel der Drehungsachse eingestellt ist, stellt man den Kristall senkrecht zu der Achse $C\,C'$ der beiden Taster, legt den Taster an der Vorderseite des Kristalls in seine Nuten und drückt, indem man ihn in E mit der Hand anfaßt, ganz leicht gegen die Vorderfläche des Kristalls. Die beiden Mikrometerschrauben, elektrisch von A isoliert, jedoch miteinander in leitender Verbindung, werden mit dem einen Ende eines Stromkreises verbunden, dessen anderes Ende an E befestigt wird. Der elektrische Strom kann also nur von C auf A übergehen, wenn der Platinstift mit dem Ende des Tasters in Berührung gebracht ist. Die Spiralfeder in der Achse der Mikrometerschraube, welche den Zylinder mit dem Platinstift aus der Bohrung der Schraube heraustreibt, ist so schwach, daß die Feder die Reibung des Tasters in seinen Nuten nicht zu überwinden vermag. Ein Milliamperemeter zeigt, daß der Stromkreis geschlossen ist. Wenn unverhofft die Schraube etwas zu weit gedreht wird, verhindert die ganz leicht zusammendrückbare Feder, daß ein, sei es auch ganz kleiner Druck, auf die Kristallfläche ausgeübt wird. Nachdem man die Lage der Mikrometerschraube C bestimmt hat, in welcher der Taster E die Kristallfläche berührt, wird die Kristallfläche um 180^0 gedreht und bestimmt man die Lage der Schraube C', in welcher Taster E' mit dieser Fläche in Berührung kommt. Jetzt werden Taster und Kristallfläche entfernt, der Kristallträger um 90^0 gedreht[1]), die beiden Taster wieder in den Nuten eingelegt und die Lage der einen Schraube C wieder gebracht in der vorher abgelesenen Einstellung, wobei Taster E den Platinstift berührt. Man bestimmt jetzt die Lage der Schraube C', bei welcher beide Taster einander berühren. Die Differenz der ersten und zweiten Ablesung der Schraube C' gibt die zweifache Entfernung der Kristallfläche von der Spektrometerachse. Die Lage der Kristallfläche wird mittels der Schraube des Schlittens, welcher den Kristall trägt, korrigiert und die Einstellungen wiederholt. Auf diese Weise erhielt man die oben angegebene große Übereinstimmung der berechneten Wellenlängen bei wiederholten Versuchen. Es stellte sich heraus, daß die Entfernung des Kristalls und nachherige Befestigung auf den Kristallschlitten die einmal festgesetzte Lage der Kristallfläche nicht im geringsten änderte. Die kleinen Verschiebungen der Taster werden hervorgebracht durch leise Stöße mit einem Bleistift gegen die Flügel G.

Der Fehler des Spektrometers, der beim Arbeiten mit dem elektrischen Taster aufgedeckt wurde, war folgender. Es stellte sich heraus, daß die Achsen der beiden konzentrischen Schliffe, welche durch den Boden des Spektrometerkörpers führen und von denen der innere den Kristalltisch trägt, der äußere den Plattenhalter, einander nicht genau parallel waren. Über die Untersuchungen mit dem Siegbahnschen Spektralapparat wird an anderer Stelle berichtet und dabei auch angegeben, auf welche Weise der Einfluß dieser Exzentrizität beseitigt wurde.

---

[1]) Dies geschieht um die Platte, an welcher der Krystall auf dem Träger befestigt ist, aus der Achse der beiden Taster zu entfernen.

Die Entwicklung, Empfindlichkeit und Verläßlichkeit der Eötvösschen Original-Drehwagen.

Von

Dr. D. Pekár, Direktor des „Baron R. Eötvös Geophysikalischen Instituts“ in Budapest.

Die Eötvössche Drehwage ist eines der empfindlichsten physikalischen Instrumente. Auch in dem Fall, wenn man die Drehwage zu praktischen Messungen verwendet, wenn man damit nach Erdöl, Erdgas oder nach anderen wertvollen Bergschätzen forscht, müssen die Messungen immer mit der größten Präzision ausgeführt werden. Infolge des kleinen Wertes der Gravitationskonstante ($66{,}3 \cdot 10^{-9}$ *CGS*) verursachen nämlich die unterirdischen Massen verschiedener Dichte, sowie die verschiedenen Konfigurationen derselben nur sehr kleine Veränderungen in der Schwerkraft, so daß man auch die mit der Drehwage ermittelten Werte ungefähr mit der Genauigkeit $1 \cdot 10^{-9}$ *CGS* zu bestimmen hat.

Diesen aus theoretischem Grunde folgenden Umstand hielt Baron Eötvös bei der sorgfältigen Konstruktion seines Apparates vor Augen, und es gelang ihm schon sein erstes Instrument in den achtziger Jahren des vorigen Jahrhunderts so zusammenzustellen, daß es bei genügender Empfindlichkeit nicht nur im Laboratorium ganz verläßliche Werte gab, sondern auch im Freien sich als brauchbar erwies, wovon die in Westungarn am Berge Ság ausgeführten Messungen zeugen. Im Jahre 1890 hat Eötvös neue Apparate konstruiert. In dem einen Apparate benützte er ein Torsionsgehänge, bei welchem die am Balkenende befindlichen Gewichte in gleicher Höhe waren und mit welchem somit nur die Krümmungsgrößen der Niveaufläche bestimmbar sind; in dem anderen Apparate dagegen waren die Gewichte in verschiedener Höhe angebracht, und so ist dieser Apparat auch zur Bestimmung der Schwerkraftsgradienten geeignet. Diese Instrumente wurden in Budapest im Jahre 1896 an der ungarischen Millenarausstellung der Öffentlichkeit vorgeführt, und mit ihnen machte Eötvös in der Umgebung von Budapest einige Messungen. Im Jahre 1898 gab Eötvös der Drehwage eine für Messungen im Freien geeignete Form, und dieses Instrument wurde im Jahre 1900 in Paris ausgestellt. Es war einarmig und mußte der Theorie gemäß in fünf verschiedenen Azimuten beobachtet werden, um die zu bestimmenden Werte berechnen zu können, und infolgedessen war die Beobachtung etwas langwierig. Deshalb baute Eötvös schon im Jahre 1902 eine doppelarmige Drehwage, in welcher zwei voneinander ganz unabhängige Apparate nebeneinander, aber um 180^0 entgegengesetzt auf einem gemeinsamen Sockel angebracht sind. Bei dieser genügt die Beobachtung in drei verschiedenen Azimuten, um alle vier Größen zu erhalten (von welchen zwei den Gradienten, zwei die Krümmungsgrößen der Niveaufläche angeben). In diesem Modell ist der Arm der Wagenbalken 20 cm lang. Das Instrument mußte beim Transport in mehrere Stücke zerlegt werden. Es ergab sich aber bald bei den Feldmessungen, daß die Zerlegung, d. i. das Öffnen des Apparates im Freien unzweckmäßig und nachteilig ist. Dies veranlaßte Eötvös schon im Jahre 1907 ein solches neues Instrument zu konstruieren, bei welchem der eigentliche Apparat aus einem Stücke besteht und beim Transport sowohl die Balken, als auch die niederhängenden Gewichte von außen feststellbar sind.

Diese immermehr vervollkommten und mit bequemer Handhabung eingerichteten Apparate gestatteten die Ausführung interessanter Laboratoriumsversuche und auch Feldmessungen, an welchen seit 1893 auch ich teilnahm. Schon im Jahre 1896

verfügte Eötvös über so viele und wertvolle Ergebnisse, daß er über die Methode und die erhaltenen Resultate in der Ungarischen Akademie der Wissenschaften einen Vortrag hielt, welcher in ungarischer und deutscher Sprache erschien[1]). Nach einigen Probemessungen folgte die erste systematische Aufnahme im Jahre 1901 auf dem Eise des Balatonsees. Seitdem sind in Ungarn ausführliche Drehwagemessungen und zwar von Anfang an unter meiner Leitung im Gange. Im Jahre 1906 hat Eötvös die Ergebnisse seiner Messungen der in Budapest stattgefundenen Konferenz der Internationalen Erdmessung unterbreitet[2]), was von den versammelten Fachleuten mit großem Interesse aufgenommen wurde. Nach Eötvös's Tode, seit 1919, befaßt sich das unter meiner Leitung stehende Baron Roland Eötvös Geophysikalische Institut weiterhin mit seinen wissenschaftlichen Forschungen, sowie mit den immer mehr praktischen Zwecken dienenden Feldmessungen. Auf diese Weise haben wir in Ungarn bis 1924 ein Gebiet von zusammen 7428 km^2 vermessen und auf diesem Gebiete das Gravitationsfeld mit der größten Ausführlichkeit bestimmt; weiterhin haben wir durch Messungen an einzelnen zusammen 1063 km langen Linien aufklärende Einsicht in die Schwerkraftsverhältnisse erhalten. Außerdem haben wir Messungen im Auslande, unter anderen auch in tropischen Gegenden in Indien ausgeführt. Die mehrere Jahrzehnte hindurch bei diesen Feldmessungen gewonnenen Erfahrungen haben wir zur Vervollkommnung der Apparate verwendet und dazu dienten auch besondere Laboratoriumsversuche. In der Zusammenstellung sowohl des schwingenden Gehänges als auch des ganzen Gehäuses haben wir entsprechende Abänderungen eingeführt, um den Einfluß der äußeren Störungen in solchem Maße zu beheben, daß unsere Instrumente bei Tagesbeobachtungen, unter den ungünstigsten Witterungsverhältnissen und auch in Tropengegenden genaue und verläßliche Werte liefern. Zur Erleichterung des Transportes werden unsere Instrumente größtenteils aus Aluminium verfertigt, ausgenommen die beweglichen Teile. Versuche mit Drähten aus verschiedenem Stoffe und auf mannigfaltige Weise präparierten Drähten reichen auf Jahrzehnte zurück. Die Torsionsdrähte werden nach eigenartigen Verfahren präpariert, und somit sind sowohl ihre Torsionskonstanten als auch ihre Temperaturkoeffizienten tadellos. Aus den präparierten Drähten werden die besten durch besondere Untersuchung ausgewählt. An dem Wagebalken gebrauchen wir anstatt Platingewichten solche aus Gold; der Wagebalken und das daran angebrachte Goldgewicht sind aus Zweckmäßigkeitsgründen nicht zylindrisch, sondern flach. Die Arretierungsvorrichtung wurde umgestaltet, so daß sie ganz sicher arbeitet und das Instrument im arretierten Zustande in beliebiger Lage transportierbar ist usw. So sind diese Apparate die praktischsten, typischen Feldinstrumente, welche den verschiedenen, bei Messungen herantretenden Forderungen im weitesten Maße entsprechen.

Noch im Jahre 1908 konstruierte Eötvös eine kleinere, doppelarmige Drehwage, bei welcher der Arm der Wagebalken 10 cm lang ist. Ich muß es betonen, daß sich dieses Instrument im Gegensatz zu irrtümlichen ausländischen Behauptungen in jeder Hinsicht vollkommen bewährt hatte und auch in Tropengegenden, so in Indien ganz gute Ergebnisse lieferte. Auf Grund der hier erworbenen Erfahrungen haben wir dieses Instrument dem größeren Modell entsprechend abgeändert

---

[1]) R. Eötvös, Untersuchungen über Gravitation und Erdmagnetismus. *Ann. d. Phys. u. Chem.* ***59.*** *S. 354—400. 1896.*

[2]) R. Eötvös, Bestimmung der Gradienten der Schwerkraft und ihrer Niveauflächen mit Hülfe der Drehwage. *Verhandl. d. i. J. 1906 in Budapest abgehaltenen XV. allgem. Konferenz der Internat. Erdmessung 1908. S. 337—395.*

und so einen vollkommenen kleineren Apparat erhalten. Besonders vorteilhaft ist die Anwendung dieses kleineren Apparates in solchen Gebieten, wo der Transport infolge schlechter Terrainverhältnisse schwierig ist. Der Apparat ist großenteils aus Aluminium gebaut, sein Gewicht beträgt weniger als 20 kg, so daß ihn ein Mann auf dem Rücken tragen kann. So hat den Apparat in Indien ein Kuli öfters auf Entfernungen von 8 bis 10 engl. Meilen getragen. Bei den Feldmessungen hat der Gebrauch von noch kleineren Apparaten keine wirklichen Vorteile. Das Gewicht und der Rauminhalt des Apparates ist nämlich im Vergleich zu den übrigen Ausrüstungsgegenständen immerhin verschwindend klein.

Mit Rücksicht auf die Steigerung der Empfindlichkeit scheint die Verminderung der Dimensionen und die Verwendung dünnerer Torsionsdrähte theoretisch zweckmäßig, denn die Torsionskonstante des Drahtes ändert sich bekanntlich mit der vierten —, die Tragfähigkeit aber mit der zweiten Potenz des Halbmessers. Eötvös selbst konstruierte im Jahre 1909 eine noch kleinere doppelarmige Drehwage mit 5 cm langem Wagebalkenarm. Der ganze Apparat ist in mehrere Metallzylinder eingehüllt und die Ablesung erfolgt oberhalb der Torsionsköpfe, wo auch die Registriervorrichtung leicht angebracht werden kann. Dieser Apparat entsprach aber nicht den Erwartungen, da die äußeren störenden Einflüsse trotz der guten Isolierung nicht entsprechend zu beheben waren. Infolgedessen muß man bei der Verringerung der Drehwagedimensionen über eine gewisse Grenze vorsichtig vorgehen, denn in diesem Falle wächst der Einfluß der äußeren Störungen und die Angaben des Apparates werden unsicher. Eben deshalb ist die Anwendung der allzu kleinen Drehwagen im allgemeinen unzweckmäßig und gefährlich, zugleich aber auch überflüssig, da dieselben keine besonderen Vorteile bieten.

Noch im Jahre 1909 hatte Eötvös einen dreiarmigen Apparat erdacht mit Wagebalken, an denen die Gewichte in der gleichen Höhe angebracht sind, während die drei Balken gegeneinander um 120^0 gedreht sind. Der Apparat, mit welchem man natürlich nur die Krümmungsgrößen bestimmen kann, wurde auch im Freien mit gutem Erfolge gebraucht und lieferte in kürzerer Zeit sehr genaue Ergebnisse. Die Gestalt des Apparates ist aber unvorteilhaft, da derselbe nicht flach ist. Ebendeshalb unterließen wir es, ein ähnliches dreiarmiges Instrument mit niederhängenden Gewichten — also auch zur Bestimmung der Gradienten geeignet — herzustellen.

Fachleute aus vielen Ländern besuchten immer häufiger das Eötvössche Institut, studierten das Instrument und die Methode sowohl im Laboratorium als auch bei Feldmessungen. Eötvös stellte ihnen die Angaben seiner Apparate gerne zur Verfügung, und so wurden die fremden Modelle unmittelbar oder mittelbar nach seinen Instrumenten gebaut. Das erste deutsche Instrument hatte Prof. O. Hecker nach dem Eötvösschen Modell vom Jahre 1902 konstruiert und durch den Mechaniker des Potsdamer Geodätischen Institutes M. Fechner verfertigen lassen. Von diesem Potsdamer Instrumente ausgehend konstruierte Prof. W. Schweydar sein neues Modell, welches von den Askaniawerken Berlin-Friedenau mit der größten Präzision hergestellt wird. Auch J. Königsberger, Prof. der Universität Freiburg, studierte eingehend die Drehwagemethode in dem Eötvösschen Institut und bei den ungarischen Feldmessungen, sodann hat ihm Eötvös seinen kleineren im Jahre 1908 konstruierten Apparat für mehrere Jahre geliehen, damit er in Gemeinschaft mit Prof. O. Hecker in Deutschland Messungen ausführe. Nach diesem Eötvösschen Instrumente wurde jenes Drehwagemodell verfertigt, welches neuerlich die Gesellschaft für Praktische Geophysik Freiburg i. Br. erzeugt. Bei der Konstruktion

des neuesten Modells der Londoner Firma L. Oertling dienten sowohl das Eötvössche Originalinstrument, als auch die übrigen in Gebrauch stehenden Apparate als Vorbild. An allen diesen Fabrikaten ist der eigentliche Apparat nach dem alten Eötvösschen Modell konstruiert, und das Hauptgewicht wurde auf die geschickte Einrichtung der automatischen Registrierung gelegt.

Eötvös selbst befaßte sich viel mit photographischen Registrierungen, und schon im Jahre 1900, auf der Ausstellung in Paris, sah man seine Registrieraufnahmen über Gravitationsbeobachtungen. Die Registrierung erwies sich aber bei Feldmessungen in vieler Hinsicht als unzweckmäßig, deshalb verwenden wir dieselbe in unseren Feldinstrumenten nicht, wie ich es in meinen früheren Aufsätzen in dieser Zeitschrift, ausführlich dargelegt habe[1]). Es liegt mir fern, diese Frage jetzt von neuem aufzurollen und die neueren gegen die Registrierung aufgetauchten Motive aufzuzählen, welche meine früher hier erwähnten Bedenken rechtfertigten. Ich erwähne nur, daß die zum Nachteile der Eötvösschen Instrumente von mehreren Seiten her angeführten Bemerkungen sich meistens auf die vor zwanzig Jahren veröffentlichten, veralteten Angaben stützen und auch teilweise irrtümlich sind. So entspricht es unter anderen den Tatsachen nicht, daß man mit den Eötvösschen Instrumenten nur bei Nacht beobachten kann, daß die Beobachtung längere Zeit dauert, größeres Personal beansprucht und kostspieliger ist als mit den Registrierapparaten usw.

Eine mehrmals wiederkehrende Behauptung ist, daß die ausländischen Fabrikate die Eötvösschen Instrumente an Empfindlichkeit übertreffen. Mit dieser Frage befaßte sich unlängst Dr. C. Heiland in *dieser Zeitschr.* ***45.*** *S. 89. 1925* in dem Artikel: „Die Brauchbarkeit von Drehwagen im Felde“ und vergleicht zahlenmäßig die Eötvösschen, Schweydarschen und Heckerschen Instrumente. Nach seiner Mitteilung sind die in dem Vergleich angeführten Eötvösschen Angaben aus dem an der Budapester Konferenz der Internationalen Erdmessung in 1906 gehaltenen Vortrag bzw. Mitteilung von Eötvös entnommen. Die in Betracht gezogenen Daten und Beobachtungen beziehen sich auf das im Jahre 1898 verfertigte, einfache Eötvössche Instrument. Vorläufig ungeachtet des in den folgenden zu besprechenden Irrtums erhellt es aus diesen Daten, wie gut unser vor 27 Jahren konstruierter Apparat war und wie schon dieses Modell mit den neueren deutschen Apparaten wetteifern kann.

Herr Heiland führt zum Vergleich eine Tabelle an, in welcher in erster Reihe die Werte von $\frac{m h l}{\tau}$ für die verschiedenen Instrumente erhalten sind; dieser Ausdruck gibt in bezug auf den Schwerkraftsgradienten die absolute Empfindlichkeit des Instrumentes, d. i. die in absoluten Einheiten ausgedrückte Drehung des Balkens für die Gradienteneinheit. In der dritten Reihe der Tabelle befinden sich die Werte von $\frac{\tau}{2 D m h l}$,[2]) welche den für den Ausschlag von 0,1 mm entsprechenden Gradienten, d. i. die effektive Empfindlichkeit des Instrumentes (im reziproken Werte) angeben. Diese Deutung der effektiven Empfindlichkeit ist aber bezüglich der visuellen Instrumente irrtümlich, weil sie die Genauigkeit der Ablesevorrichtung ganz außer acht läßt. An unseren Apparaten befinden sich nämlich Fernrohre mit 25facher

[1]) Dr. D. Pekár, Die bei Feldmessung angewendete Drehwage von Baron Roland v. Eötvös. *Diese Zeitschr.* ***42.*** *S. 173. 1922.* — Dr. D. Pekár, Die Anwendbarkeit der Eötvösschen Drehwage im Felde. *Diese Zeitschr.* ***43.*** *S. 187. 1923.*

[2]) τ bedeutet die Torsionskonstante, D die Skalenentfernung, ferner m die Masse, h die Tiefe, l den Drehungsarm des hängenden Gewichtes.

Vergrößerung, und somit erscheint die Halbmillimeterteilung im Fernrohr so groß, daß die Zehntelteile bequem und sicher abzulesen sind. Infolgedessen bestimmt die effektive Empfindlichkeit unserer visuellen Apparate jener Gradient, welcher dem Ausschlag von 0,1 Skalenteil entspricht. Bei den mit entsprechender Optik versehenen, visuellen Instrumenten muß man bei der Berechnung der effektiven Empfindlichkeit die Größe D in Skalenteilen bzw. in dessen Zehntelteilen ausdrücken. Um auf die Richtigkeit dieses Standpunktes hinzuweisen, halte ich für notwendig, mich auf ein elementares Beispiel zu berufen, auch auf die Gefahr hin, daß „meine Belehrungen über allgemein bekannte Dinge“ gleichweise wie von Herrn Schweydar eine schroffe Zurückweisung hervorrufen könnten[1]). Ich denke aber, daß mich die irrtümliche Mitteilung ebenso wie damals, so auch jetzt dazu berechtigt.

Wenn ich nämlich bei der Fernrohrablesung z. B. im Falle von 1 m Skalenabstand eine derartige optische Einrichtung anwende, daß man die Zehntelteile der 1 mm-Teilung sicher ablesen kann, ist es unmittelbar klar, daß ich dieselbe Genauigkeit erreiche, als wenn ich bei 0,5 m Skalenabstand 0,5 mm-Teilung und ein Fernrohr mit entsprechend erhöhter Vergrößerung anwende, so daß ich die Zehntelteile der halb so großen Teilung wieder ganz sicher ablesen kann. In beiden Fällen entsprechen den mit gleicher Sicherheit abgelesenen Zehntel-Skalenteil Ausschlägen gleiche Winkel, und so ist in beiden Fällen die effektive Empfindlichkeit des Instrumentes gleichgroß, während gemäß Heilands Berechnung dieselbe im Verhältnis von 2 : 1 stehen würde. Es ist das Verfahren, bei der Bestimmung der effektiven Empfindlichkeit die Genauigkeit der Ablesungsvorrichtung außer acht zu lassen, ganz unrichtig.

Nach diesen sei hier folgende Tabelle für die absolute und für die richtig berechnete effektive Empfindlichkeit angeführt:

Instrument	Eötvös 1898	Eötvös 1924	Fechner	Schweydar	Hecker photograph.	Hecker visuell
Absolute Empfindlichkeit: $\frac{mhl}{\tau}$	$57 \cdot 10^3$	$77 \cdot 10^3$	$64 \cdot 10^3$	$69 \cdot 10^3$	$40 \cdot 10^3$	$40 \cdot 10^3$
Effektive Empfindlichkeit (reziproker Wert) $\frac{\tau}{2Dmhl}$	$0{,}7 \cdot 10^{-9}$	$0{,}5 \cdot 10^{-9}$	$2{,}3 \cdot 10^{-9}$	$0{,}9 \cdot 10^{-9}$	$5{,}1 \cdot 10^{-9}$	$1{,}6 \cdot 10^{-9}$

Die erste Kolonne bezieht sich auf das im Jahre 1898 hergestellte Instrument von Eötvös, die zweite auf jenes Eötvössche Instrument Nr. 14257, welches wir im Jahre 1924 der „Exploration“ Bodenuntersuchungs- und Verwertungs-Gesellschaft m. b. H. in Berlin geliefert haben. Die auf die deutschen Apparate bezüglichen Daten habe ich unverändert und ohne Verantwortlichkeit aus Heilands Tabelle entnommen. Aus den Daten ist unmittelbar ersichtlich, daß unter den deutschen Apparaten der Schweydarsche der beste ist. Im Vergleich zu den Eötvösschen Instrumenten sehen wir, daß die absolute Empfindlichkeit des Modells vom Jahre 1898 um 17% geringer ist als die des Schweydarschen, dagegen das Eötvössche Instrument vom Jahre 1924 das Schweydarsche an absoluter Empfindlichkeit um 12% übertrifft. Die Angaben der effektiven Empfindlichkeit zeigen, daß schon

[1]) Dr. W. Schweydar, Über Fortschritte bei Feldmessungen mit einer Drehwage nach Eötvös. *Diese Zeitschr.* ***43.*** *S. 307. 1923.*

das Modell vom Jahre 1898 tatsächlich empfindlicher war, als das Schweydarsche und das Eötvössche Modell vom Jahre 1924 im Vergleich zum Schweydarschen beinahe die doppelte effektive Empfindlichkeit besitzt. In neuester Zeit werden, wie erwähnt, Drehwagen auch von der Londoner Firma L. Oertling hergestellt; die Empfindlichkeit dieser Apparate ist aber laut der mir zugegangenen Mitteilungen geringer. Auf Grund dessen können wir feststellen, daß die Empfindlichkeit der Original Eötvösschen Drehwage höher ist als diejenige aller übrigen, derzeit in Gebrauch stehenden Instrumente.

Der Vollständigkeit halber will ich noch erwähnen, daß die weitere Erhöhung der Empfindlichkeit unserer Apparate, die an sich ohne größere Schwierigkeiten möglich ist, für die Feldmessungen ganz überflüssig und zwecklos ist. Wenn man nämlich aus den Drehwagebeobachtungen wissenschaftliche, geodätische oder praktische, auf die unterirdischen Verhältnisse bezüglichen Folgerungen ziehen will, so muß man zuerst die von den ganz zufälligen, sichtbaren Unebenheiten der Umgebung herrührende Wirkung, die Terrainwirkung von den Beobachtungsergebnissen in Abzug bringen. Diese Terrainwirkung kann man aber wegen unvermeidbarer prinzipieller Schwierigkeiten (Inhomogeneität des Bodens usw.) schon weniger genau aus den Nivellierungsdaten berechnen, als die Genauigkeit der Drehwageergebnisse ist. Auf diese Weise wird die Genauigkeit der Endergebnisse durch die Steigerung der Empfindlichkeit des Instrumentes gar nicht erhöht.

Ein anderer wichtiger Umstand bei der Beurteilung der Brauchbarkeit der Drehwage ist die Verläßlichkeit der Messungsergebnisse. Als Maß der Verläßlichkeit können wir jene Abweichungen betrachten, welche sich in den einzelnen Beobachtungsreihen bzw. deren Ergebnissen unter ungünstigen meteorologischen Verhältnissen zeigen. Herr Heiland befaßt sich auch mit dieser Frage eingehend in dem obenerwähnten Artikel und teilt für die verschiedenen Drehwagetypen einige Beobachtungsreihen mit. Für das Original Eötvössche Instrument wird jene Beobachtungsreihe angeführt, die Eötvös auf der Budapester Konferenz der Internationalen Erdmessung in 1906 mitgeteilt hat und die mit der ersten im Jahre 1902 gebauten doppelarmigen Drehwage gewonnen wurde, als die Beobachtungen noch nicht stündlich, sondern in einem Zeitraum von 1 Stunde 45 Minuten erfolgten, und der Apparat in einem unvollkommen isolierten Zelt aufgestellt war usw. Mit den Angaben dieses 23 Jahre alten Instrumentes werden die Ergebnisse der neuesten, deutschen Apparate verglichen. Nach den mitgeteilten Daten ist der beste unter den deutschen Apparaten der Schweydarsche. Ein Vergleich zeigt, daß die Angaben unseres Instrumentes vom Jahre 1902 beinahe ebenso gut sind wie die Schweydarschen und wesentlich besser sind als die Angaben der übrigen deutschen Apparate. Herr Heiland gibt in den einzelnen Tabellen neben den Mittelwerten auch die mittleren Fehler an. Es sei mir erlaubt zu erwähnen, daß die mittleren Fehler nur in dem Falle miteinander einwandfrei vergleichbar wären, wenn sie aus Beobachtungen gleicher Anzahl abgeleitet wären. Nach meiner Ansicht sollte man in solchen Fällen, wo man die Übereinstimmung von nur zwei bis drei Angaben zu beurteilen hat, nicht den mittleren Fehler, sondern die maximale Abweichung vom Mittelwerte in Betracht ziehen. Im Falle so weniger Angaben läßt nämlich der mittlere Fehler die Ergebnisse genauer erscheinen, als sie in der Wirklichkeit sind.

Ich halte es für überflüssig mit einer besonderen Tabelle zu beweisen, daß unsere Apparate in dem letzten Vierteljahrhundert nicht nur bezüglich der Empfindlichkeit, sondern auch der Verläßlichkeit wesentlich vervollkommnet wurden. Wir

befaßten uns eben sehr viel mit der Behebung der äußeren störenden Einflüsse; ich selbst habe die Frage einer längeren experimentellen Untersuchung unterworfen. Wir verfügen über besondere Laboratoriums-Untersuchungsmethoden, mit welchen wir die Apparate prüfen und für die störenden Einflüsse unempfindlich machen. So entsprechen unsere Instrumente auch bezüglich der Verläßlichkeit den größten bei Feldmessungen stellbaren Forderungen.

In *dieser Zeitschr.* **45.** *S. 164. 1925* erschien ein Nachtrag zur Abhandlung des Herrn Heiland, worauf in den folgenden kurz zurückzukommen mir erlaubt sei. Als ich in meinem Aufsatz „Die Anwendbarkeit der Eötvösschen Drehwage im Felde“ die Güte und Verläßlichkeit der ausländischen Fabrikate behandelte, habe ich mich unter anderen auf eine Abhandlung des Herrn Gornick berufen[1]). In den in *dieser Zeitschrift* erschienenen Antworten suchen sowohl Herr Gornick (**43.** *S. 306. 1923*) als auch Herr Schweydar (**43** *S. 307. 1923*) die Richtigkeit meiner Behauptungen zu widerlegen. Da der aufmerksame Leser sich nach den bisherigen Mitteilungen ein objektives Urteil bilden konnte, hielt ich die abermalige Antwort für überflüssig. Der jetzt erschienene Nachtrag rollt aber die Frage von neuem auf.

Nach den freundlichen Mitteilungen des Herrn Gornick erkenne ich jenen Irrtum an, daß die fraglichen Messungen nicht mit einem Bambergschen, sondern mit einem Fechnerschen Apparate ausgeführt wurden (diesen Apparat kann man nicht als ungarisch-Fechnerschen bezeichnen, da wir dazu nur einige Daten zur Verfügung stellten). Es sei mir erlaubt zu erwähnen, daß jeder andere Leser in denselben Irrtum hätte geraten können, da der Artikel zuerst das Eötvössche Originalinstrument, sodann das Fechnersche und zuletzt als das neueste, für Feldmessungen besonders geeignete Instrument das Bambergsche ausführlich behandelt und erst dann auf die Messungen übergeht. Auf diese Weise erscheint es als ganz natürlich, daß die Aufnahmen mit dem Bambergschen Instrumente gemacht wurden.

Meine Kritik bezog sich übrigens ausgesprochen auf jenes Instrument, mit welchem Herr Gornick seinerzeit seine Messungen ausführte. Daß die in seinem Artikel erschienenen Abbildungen Zeichnungen und nicht unmittelbare Reproduktionen der Registrierungen sind (ohne die Bemerkungen des Herrn Schweydar über die Kreuze und Kreise zu Hilfe zu nehmen), kann jedermann sehen, und es ist wohl anzunehmen, daß auch ich, da ich mehrere hundert Registrierungen ausgeführt habe, das wahrgenommen habe. Herr Gornick bringt zwei Abbildungen: eine Station mit großem und eine mit kleinem Schweregradienten; das Hauptgewicht wird mit einem Worte auf die Größe der Abweichungen gelegt. Es wäre beinahe schwer, die Abweichungen nur nach Gutdünken so gut zu zeichnen, daß sich die aufeinanderfolgenden, berechneten Werte so systematisch verändern, wie wir es tatsächlich finden. Infolgedessen kann ich mich nicht der Vermutung verschließen, daß die mitgeteilten Zeichnungen nach wirklichen Registrierungen und nach deren genauen Dimensionen verfertigt wurden, ebenso wie z. B. eine vergrößerte Karte nach einer photographischen Aufnahme.

Abgesehen davon habe ich nur die auf den Apparat bezügliche, eigene Kritik des Herrn Gornick mit Zahlenwerten bestätigt. Wie ich es in meiner erwähnten Abhandlung betont hatte, teilt Herr Gornick selbst in seinem Artikel mit, daß er

[1]) H. Gornick: Die Drehwage und ihre Anwendung zu praktisch geologischen Untersuchungsarbeiten. *Verein deutscher Eisenhüttenleute, Sitzung v. 15. Dez. 1921 in Düsseldorf. Bericht Nr. 2.*

es infolge der großen Abweichungen der Beobachtungen für notwendig erachtete, daß man „21 Stunden beobachtet und somit etwa sieben Serien von Beobachtungen erzielt, aus denen alsdann das Mittel genommen wird, um zu einem **angenähert** richtigen Ergebnisse zu kommen.“ Diese Erklärung entspricht im wesentlichen meinen zahlenmäßigen Angaben und den daraus gezogenen Folgerungen.

Herr Heiland teilt in seinem neuesten Artikel in der II. Tabelle seine mit einem Fechnerschen Apparate ausgeführten Messungen mit. Der Apparat ist entweder identisch, oder mit Rücksicht auf die Jahreszahl 1922 noch neuer, aber jedenfalls dasselbe Modell, wie der fragliche Apparat. Die mitgeteilten Daten bestätigen meine Behauptungen. In den Angaben des Herrn Heiland ist z. B. die maximale Abweichung 13,0 in den Werten von $10^9 \cdot \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial z}$, und 13,4 in den Werten von $10^9 \cdot \frac{\partial^2 U}{\partial y \partial z}$; nach den von mir ausgemessenen und berechneten Daten betragen die entsprechenden maximalen Abweichungen 14,6 bzw. 11,4. Dieser Apparat ist mit einem Worte ebenso unzuverlässig, wie der von mir und von Herrn Gornick kritisierte Apparat. Diese Zahlenwerte entkräften zugleich die schwere Kritik des Herrn Schweydar, als er sich, um die Unbrauchbarkeit obiger Abbildungen zu rechtfertigen, über mich unter anderen folgendermaßen äußert: „Die enormen Unstimmigkeiten hätten ihm als Fachmann die Gewißheit geben müssen, daß er einem Irrtum zum Opfer gefallen ist.“ Nach all diesem bin ich gezwungen, jene Behauptung unverändert aufrechtzuerhalten, daß jener Apparat der Berliner Exploration, von welchem in der Abhandlung des Herrn Gornick die Rede ist, „bei weitem nicht zuverlässige Angaben bietet“.

Herr Heiland bezweifelt zugleich in seinem Nachtrag die Richtigkeit jener Mitteilung, „daß der Direktor der Exploration u. a. selbst erwähnt hat, daß die Instrumente von Bamberg im Laboratorium vorzüglich sind, im Freien dagegen bald die eine, bald die andere Einrichtung versagt“. Ohne auf persönliche Angelegenheiten einzugehen, sei mir die Bemerkung erlaubt, daß Herr Heiland gar nicht befugt ist, sich über die Tatsächlichkeit jener vor dem Personal des Eötvös-Institutes gemachten Erklärung zu äußern. Um Unannehmlichkeiten zu vermeiden, habe ich diese Erklärung nur in dem 1925er Almanach der astronomischen Gesellschaft „Stella“ mitgeteilt, welcher hauptsächlich für die Mitglieder dieser Gesellschaft bestimmt ist und nur ungarisch erscheint. Ich bedauere es sehr, daß Herr Heiland es für notwendig hielt, diese Bemerkung auszugraben. Übrigens habe ich in neuester Zeit besonders aus Amerika über ausländische Instrumente ähnliche Mitteilungen erhalten. Zuletzt weiß ein jeder in den physikalischen Untersuchungen bewanderte und mit den Feldmessungen vertraute Fachmann, daß, wenn man eine beliebige, verhältnismäßig komplizierte, automatische Einrichtung im Freien gebraucht, dieselbe besonders bei ungünstigen meteorologischen und anderen Umständen leicht versagt.

Über die Zuverlässigkeit der Angaben von Registrierphotometern mit Photozellen.

Bemerkung zu einer Veröffentlichung des Herrn Rosenberg[1].

Von
P. P. Koch in Hamburg.

In einer vor kurzem erschienenen Veröffentlichung behauptet Herr Rosenberg[2], daß die von ihm eingehend beschriebenen Ermüdungs- und Erholungsvorgänge an Photozellen[3] auch für das erstmals im Jahre 1912 beschriebene registrierende Mikrophotometer[4] eine nicht zu vernachlässigende Fehlerquelle darstellen.

Dem gegenüber sei hervorgehoben, daß dies keineswegs der Fall ist. Schon bei dem ersten Versuchsinstrument konnte gezeigt werden, daß bei der Prüfung der zeitlichen Konstanz der Angaben im allgemeinen keine Schwankungen auftraten, die über die erstrebte Genauigkeit von rund $1\,^0/_0$ — bezogen auf die zur Erzeugung der zu messenden Schwärzung notwendige Lichtintensität — hinausgingen.

Die seit der Neukonstruktion des registrierenden Mikrophotometers[5] verwandten Photozellen mit bis auf die Lichteintrittsöffnung völlig verspiegelter Innenwand beseitigten die bei dem ersten Instrument noch vorhandene Einstellungsträgheit restlos: Der Elektrometerfaden springt bei plötzlichen Belichtungsänderungen der Zuleitungszelle in einigen Zehntel Sekunden um $99\,^0/_0$ des Endausschlages, ganz unabhängig davon, ob eine stundenlange Belichtung oder Verdunkelung vorausgegangen ist. Neben dieser einfachen, jeder Zeit vorzunehmenden Probe auf die Zuverlässigkeit des Instruments, werden Registrierungen so gut wie immer so vorgenommen, daß das auszumessende Objekt zunächst in der einen und dann in der entgegengesetzten Richtung unter dem Photometer durchgezogen wird. Bei den vielen hundert bisher auf diese Art aufgenommenen Registrierplatten deckt sich bis auf verschwindende Ausnahmen der hin, und rücklaufende Kurvenzug bis in die feinsten Einzelheiten derart, daß er von einem einfach registrierten durch kein Mittel zu unterscheiden ist. Dies gilt sogar von dem Registrieren ganz scharfer, künstlich hergestellter Grenzen zwischen hell und dunkel, wie sie auf Aufnahmen von Spektren und dergl. überhaupt niemals vorkommen. Die erwähnten Ausnahmen haben sich als durch die Tatsache bedingt erwiesen, daß der Faden von manchen der als Lichtquelle benutzten Metallfadenlampen sich unter Umständen im Laufe der Zeit etwas verbiegt. Für derartige Verbiegungen ist aber das Photometer nicht kompensiert, da die Zuleitungszelle ihr Licht von einem Teil des auf den Vorspalt abgebildeten Glühfadens erhält, während die Ableitungszelle vom ganzen Glühfaden beleuchtet wird. Dieser Vorgang erklärt auch die von Herrn Goos seinerzeit beobachtete[6] und von Herrn Rosenberg[7] als Ermüdungserscheinung gedeutete zeitliche Inkonstanz der Angaben des Photometers. Es handelt sich also dabei um eine reine Lampenfrage, deren Erledigung keine prinzipiellen Schwierigkeiten bietet.

---

[1]) H. Rosenberg, Das neue Elektro-Mikrophotometer der Tübinger Sternwarte (Österberg). *Diese Zeitschr.* **45** *S. 313. 1925.*

[2]) H. Rosenberg, *l. c. S. 322.*

[3]) H. Rosenberg, *Zeitschr. f. Phys.* **7.** *S. 18. 1921.*

[4]) *Wied. Ann.* **39.** *S. 705. 1912.*

[5]) *Diese Zeitschr.* **41.** *S. 313. 1921.*

[6]) *Diese Zeitschr.* **41.** *S. 320. 1921.* [7]) H. Rosenberg, *l. c. S. 322. Anm. 1.*

Schließlich sei erwähnt, daß einer Mitteilung des Herrn Gehrcke zufolge dieser gelegentlich ohne Wissen der Beteiligten eine komplizierte Spektralaufnahme einmal mit dem Hamburger Photozellenphotometer und einmal mit dem Utrechter Thermoelement-Photometer des Herrn Moll[1]) ausmessen ließ und zu seiner großen Befriedigung mit beiden Instrumenten Werte geliefert bekam, die innerhalb der Meßmöglichkeit übereinstimmten.

Faßt man alles zusammen, so dürfte wohl der Schluß berechtigt erscheinen, daß die Angaben des registrierenden Mikrophotometers weder durch Ermüdungsvorgänge, noch durch andere Störungen mit Fehlern behaftet sind, die über die beanspruchte, oben gekennzeichnete Genauigkeit hinausgehen.

Damit erübrigt es sich glücklicherweise auch auf den Verbesserungsvorschlag des Herrn Rosenberg[2]) einzugehen, demzufolge das Uhrwerk des Photometers die Triebschraube ruckweise fortbewegen und in jeder Stellung eine entsprechend lange Rast einlegen soll. Denn gerade darin, daß das Registrierphotometer einen kontinuierlichen Kurvenzug aufzeichnet, der jede einzelne Feinheit wie sie allein schon durch die Zufälligkeitslagerung des Plattenkorns bedingt ist, mit unbestechlicher Treue wiedergibt, beruht ja die Überlegenheit des Registrierphotometers über alle Instrumente, die nur einzelne Punkte zur Messung herausgreifen.

Es bleibt die Frage, wie die in der Zusammenfassung niedergelegten Ergebnisse mit den schlechten Erfahrungen des Herrn Rosenberg zu vereinigen sind.

Die Unstimmigkeit dürfte darin ihre Aufklärung finden, daß Herr Rosenberg mit der an die Zellen angelegten Spannung zu nahe an die Glimmspannung herangegangen ist. Ein kurzer Blick auf die von Herrn Rosenberg veröffentlichten Tabellen[3]) zeigt, daß die störenden Einflüsse der Ermüdung rapide abnehmen mit zunehmendem Abstand der an die Zellen angelegten Spannung von der Glimmspannung. In der Tat war schon bei den ersten Versuchen mit Photozellen erkannt worden, daß sie bei Annäherung an die Glimmspannung unzuverlässig werden, und es wurde schon damals[4]) als vorteilhaft bezeichnet, mit der an die Zellen anzulegenden Spannung etwa 10 Volt unterhalb der Glimmspannung zu bleiben. Die Neukonstruktion des Registrierphotometers ermöglichte es dann durch bessere Lichtausnutzung diesen Abstand auf 20 Volt heraufzusetzen. Obwohl Herr Rosenberg seine Untersuchungen gar nicht bis in diese Gegend fortgesetzt hat, läßt sich doch auch aus einer plausiblen Extrapolation seiner Daten entnehmen, daß bei diesem Abstand Störungen durch Ermüdungsvorgänge praktisch wirkungslos werden müssen.

Hamburg, 9. September 1925.

Physikalisches Institut der Universität.

---

[1]) W. I. H. Moll, *Proc. Phys. Soc. 33. 1921.*

[2]) H. Rosenberg, *l. c. S. 322.*

[3]) H. Rosenberg, *Zeitschr. f. Phys. 7. S. 28. und folgende. 1921.*

[4]) *Wied. Ann.* ***39.*** *S. 711. 1912.*

Referate.

Integrator.

Von H. C. H. Townend, *Journ. of Scientif. Instruments* **2.** *Nr. 7. S. 233. 1925. Cambridge Univ. Press.*

Der Verfasser beschreibt ein einfach gebautes Instrument, das die Integration

$$\int_{x_1}^{x_2} y\,dx = \int_{x_1}^{x_2} f(x)\,dx \qquad 1)$$

mechanisch ausführt auf Grund der gezeichneten Kurve

$$y = f(x) \qquad 2)$$

für den Fall, daß die Flächenbestimmung für gewisse nebeneinander liegende Abszissenstufen $x_2 - x_1$; $x_3 - x_2$; $x_4 - x_3 \ldots$ geschehen soll, d. h. daß also die einzelnen Flächenstücke zwischen der Kurve, der x-Achse und den Ordinaten $y_1\, y_2$; $y_2, y_3; \ldots$ abgelesen werden sollen. Verwendet man in diesem Fall das gewöhnliche Polarplanimeter oder eine seiner Abarten, z. B. die mit dem Pol in ∞er Entfernung, s. u., so müssen mit dem Fahrstift außer den Kurvenstücken zwischen den Endpunkten der oben angedeuteten Ordinaten je auch diese Ordinaten selbst und die entsprechenden Stücke der x-Achse durchfahren werden, was der Verf. als wesentlichen Nachteil ansieht, weil damit viel unnötige Arbeit getan werden müsse. Da man auf der x-Achse und in den Ordinaten am Lineal fahren kann, so ist jedoch diese Arbeit nicht groß; mehr ins Gewicht kann der Umstand fallen, daß bei diesem Verfahren die Integrierrolle Bewegungen in verschiedenem Drehungssinn zu machen hat und ihre Welle bei der Ankunft des Fahrstiftes in den Endpunkten jeder Abszissenstrecke und jeder Ordinate plötzlich ihre Richtung ändern muß.

Das neue Instrument ist ein Planimeter mit Pol in ∞er Entfernung; auf zwei voreinander gesetzten Rädern R_1 und R_2 läuft der Wagen in einer Nut eines langen Metallineals. Diese Nut ist genau parallel zur x-Achse der Zeichnung zu richten, was durch zwei in ihr verschiebbare, in Spitzen endigende, genau gleiche Metallarme L, L kontrolliert wird. An der Schiene, an deren Enden R_1 und R_2 liegen, ist ein Auslegerrahmen $A_1\, A_2$ befestigt; auf A_2, das genau $\parallel$ zur y-Achse liegt, gleitet der Halter des Fahrstifts P, und in einem auf der andern Seite des Halters angebrachten Schlitz verschiebt sich der Endstift des Zwischenarmes D („Radiusarm"), an dessen anderem Ende sich die Integrierrolle befindet, derart angebracht, daß der Berührungspunkt zwischen ihrem Rand und der die Kurve $y = f(x)$ tragenden Ebene beim Gebrauch des Instrumentes die x-Achse durchlaufen kann. Das Gewicht des Auslegerrahmens wird z. T. von einem kleinen Laufrädchen an der Spitze des Rahmens getragen, z. T. durch ein Gegengewicht auf der andern Seite der $R_1\, R_2$-Schiene unschädlich gemacht.

Der Verf. teilt noch mit, er habe nach Fertigstellung seines Instruments die Beschreibung eines andern, auf derselben theoretischen Grundlage beruhenden, aber anders ausgeführten gefunden, von J. G. Johnstone herrührend und als *„an improved form of integrator"* bezeichnet; vgl. *„Transa. Inst. Engineers and Shipbuilders Scotland"*, **57.** *S. 307. 1913/14.* Dem Ref. ist diese Zeitschrift nicht zugänglich. *Hammer* †.

Topographische Luftaufnahmen.

Engineering News-Record **94.** *(Nr. 15). S. 604—608. 1925.*

Es ist bekannt und leicht verständlich, daß in Nordamerika großes Interesse besteht, und zwar schon seit längerer Zeit, für die Methoden der „neuen" Topographie, der Phototopographie. Dieses Interesse ist z. B. in Kanada unter dem Einfluß von Deville schon Jahrzehnte alt; in den Vereinigten Staaten ist es neuerdings besonders infolge der Kriegserfahrungen lebhaft geworden, und es hat sich hier von Anfang an auf die topographische Aufnahme aus der Luft konzentriert, während die Stereophototopographie vom festen Erdboden aus wenig Beachtung fand. Man hat in der Union fast ausschließlich Senkrechtaufnahmen angewendet zur Zusammensetzung von *„mosaic maps"* und zur Herstellung „wirklicher topographischer Karten"; es mehren sich in neuester Zeit sowohl die Veröffentlichungen über amtliche Karten, die aus Luftaufnahmen entstanden sind (vgl. z. B. die

Special-Public. des U. S. Coast and Geodetic Survey Nr. 105 von G. C. Mattison, 1924, in der aerotopographische Aufnahmen im Mississippi-Delta beschrieben sind, nach denen besonders die Deltaveränderungen der letzten Zeit festgestellt werden sollten und die auch bereits für die neue Seekarte Nr. 1272 vom Mississippi-River-Delta in 1 : 80000, 1925 mit verwendet worden sind, wie die Anzeigen von aerotopographischen Privatfirmen, die für technische Zwecke, Vorarbeiten für Bahnen, Staubecken usw. Pläne versprechen von viel größerer Schnelligkeit der Herstellung, viel größerer Ausführlichkeit in den Einzelheiten, endlich viel größerer Genauigkeit, als sie jemals die „alten" Methoden der Topographie auf dem festen Erdboden erreichen könnten. Solche Firmen sind z. B., um nur einige wenige zu nennen: Fairchild in Newyork (Allein-Vertrieb der K-3 Camera, Standard der U. S. Army and Navy Services, auch in Kanada und in Brasilien amtlich eingeführt); Underwood and Underwood, ebenfalls in Newyork, die *„aerial maps and surveys"*, besonders für Stadtpläne und für technische Zwecke der eben angedeuteten Art ausführen und neben den Senkrechtaufnahmen ausdrücklich auch ihre *„aerial obliques"* erwähnen, usw. Über die Verfahren aber, durch die in der Union aus den Luftbildern, seien es Senkrecht- oder Schrägaufnahmen, Karten (Grundrisse) mit Höhenlinien hergestellt werden, ist aus der amerikanischen Literatur sehr wenig zu erfahren. Mit um so größerer Erwartung habe ich deshalb den im Titel genannten Aufsatz zur Hand genommen, dessen (nicht genannter) Verfasser im Untertitel ankündigt, es werde ein neues Verfahren der Herstellung topographischer Pläne und Karten mit Höhenlinien aus Luftbildern erläutert werden, nämlich das Verfahren der aerotopographischen Firma Brock und Weymouth, Philadelphia, der sog. Brock-Prozeß. Aber auch hier wird der Leser ziemlich enttäuscht, indem der tatsächliche Einblick in dieses Verfahren trotz einiger Abbildungen der verwendeten Instrumente kaum dem Umfang des Aufsatzes entspricht.

Verwendet werden meist einander übergreifende Senkrechtaufnahmen mit der Brock-Camera, die kardanisch aufgehängt ist und deren Schwankungen gedämpft werden. Die Objektive haben kleine Brennweiten, die Platten haben $6^1/_2 \times 8^1/_2$ Zoll = rd. $16^1/_2 \times 21^1/_2$ cm². Die größte Brennweite ist 21 cm, gebraucht bei großen Maßstäben der Aufnahme und verhältnismäßig niedrigem Flug. Bei 5000 feet = rd. 1500 m Flughöhe bildet sich auf der genannten Platte ein Geländestück von rd. $1{,}2 \times 1{,}6$ km² im Maßstab von etwa 600 feet = 1 Zoll (1 : 7200) ab. Die Expositionsdauer ist rd. $^1/_{150}$ Sek. Die Kammer wird in dem Aufsatz abgebildet, ohne z. B. die Objektivlinse darzustellen; sie wird in den Arthur Brock, Tool and Manufactg. Works gebaut, die auch die übrigen Spezial-Instrumente des „Brock-Verfahrens" liefern. Von diesen werden ferner abgebildet der Brocksche Stereoskoptisch, der zur Messung der Höhenunterschiede dient aus der parallaktischen Verschiebung, die auf zwei benachbarten horizontalen Platten der Aufnahme ein in der Natur über die Grundebene hervorragender Punkt erfährt; sodann das Instrument zum Umphotographieren der Platten der Aufnahmen, nachdem für jede Platte die Neigung bestimmt ist. Aber richtigen Einblick in den Bau und die Wirkungsweise der Instrumente erhält man, wie bereits angedeutet, nicht.

Der Brocksche Prozeß, der in 10 jähriger Arbeit entwickelt und vervollständigt worden ist, wird als ein im wesentlichen stereophotographisches Verfahren bezeichnet, ohne daß jedoch das Stereoskopbild zur Messung verwendet würde. Am Anfang und am Ende einer Reihe übergreifender Bilder muß eine bekannte Grundlinienstrecke mit photographiert werden können; dabei kann der Streifen (die Bilderreihe) im ganzen z. B. 25 oder 30 km lang sein. Das möchte angehen; aber wie wird die weitere Forderung erfüllt, daß im Feld jedes Plattenpaares die Höhenunterschiede zwischen vier auf den Platten abgebildeten Punkten bekannt sein müssen? Setzt dies nicht eine enge vollständige Höhentriangulation des ganzen Gebietes voraus? Es ist nun am Schluß des Aufsatzes bei einem Blick auch die Entwicklung des Verfahrens angegeben, man habe bald erkannt, daß verschiedene Beschränkungen manche Methoden ganz unbrauchbar machten, die vom theoretischen Standpunkt aus das Beste versprochen hätten. So habe z. B. die beabsichtigte Vermeidung aller „ground control" (Kontrolle oder grundlegende Messungen auf dem Erdboden) als praktisch ganz unmöglich aufgegeben werden müssen. Erst das Prinzip der Anwendung weit übergreifender Paare von Bildern habe die Entwicklung des Brock-Prozesses möglich gemacht.

Das ganze Brock-Verfahren wird in den von der Firma Brock und Weymouth versandten Drucksachen als von Prof. A. Goodspeed (Prof. in Charge des Randal Morgan-Laboratoriums

für Physik der Universität von Pennsylvania, Philadelphia) in allen Einzelheiten geprüft und gut befunden bezeichnet. Das Gutachten von Goodspeed schließt mit dem Hinweis auf die überlegene Genauigkeit (besonders in den Einzelheiten), und Schnelligkeit des Verfahrens im Vergleich mit den bisher gebräuchlichen topographischen Methoden. Der neue Prozeß sei „obviously universal and unlimited". Auch in dem besprochenen Aufsatz werden demgemäß den aus dem neuen Verfahren hervorgehenden Höhenlinienplänen große Genauigkeit und Vollständigkeit, Schnelligkeit und Billigkeit der Aufnahme nachgerühmt; die Höhenlinien sollen gemäß einer kürzlich bei einer Brock-Aufnahme gemachten Nachmessung auf $2^1/_2$ feet 75 cm Höhenabweichung richtig gefunden worden sein, und diese Zahl soll durch weitere Verbesserungen an den Instrumenten und dem Verfahren weiter stark herabgedrückt worden sein. Von den zwei beigegebenen Beispielen von Höhenlinienplänen stellt das eine stark bewaldetes Gebiet dar; es sei dabei infolge des stereoskopischen Effekts „leicht" gewesen, zwischen den Bäumen den Grund und Boden zu sehen und die Höhenlinien auf ihm zu verfolgen; im schütteren, lückigen Bergwald vielleicht, wie aber z. B. im tropischen Urwald oder in dem Kulturwald fortgeschrittener Forstwirtschaft?

Bei dieser Gelegenheit sei der Leser auch aufmerksam gemacht auf eine in demselben Band 94 des Engg. News-Record ausgetragene Diskussion zwischen dem Unions-Zivilingenieur H. R. Faison, der durchaus für das völlige Verlassen der „alten" topographischen Methoden für Ingenieurzwecke und topographische Karten eintritt und gleichfalls (wie Goodspeed) das Brock-Verfahren als den größten Fortschritt der Topographie aus der Luft ansieht, der bisher in der Union gemacht wurde, und dem in Eisenbahn-Trassierungen ungewöhnlich reich erfahrenen kanadischen Bahningenieur H. K. Wicksteed, der jene alten Methoden mit Meßtisch oder Tachymeter auf festem Grund und Boden oder in den wasserreichsten kanadischen Gegenden sogar vom Boot aus als für viele Fälle notwendig und durch nichts anderes zu übertreffen erklärt. *Hammer* †.

Ein neues Verfahren zur photographischen Aufnahme sehr schnell verlaufender (ballistischer) Vorgänge bei Tageslicht.

Von K. Becker. *Zeitschr. f. techn. Physik* 6. *S.* 172. 1925.

Zur Klärung wichtiger ballistischer Fragen sind schon vor Jahrzehnten Methoden ausgearbeitet worden, um mittels elektrischer Momentphotographie Einzel- und Serienaufnahmen schnell bewegter Körper, z. B. von Infanteriegeschossen bis zu Geschwindigkeiten von 900 m/s., in hoher Vollendung auszuführen. Dagegen bereitete bei Artilleriegeschossen die elektrische Momentphotographie, da sie aus dem Laboratorium auf den Schießplatz führt und im Tageslicht vorgenommen werden muß, erhebliche Schwierigkeiten, und erst v. Cles gelang es, durch geeignete Modifikation des Kinematographen das Geschoß in der Nähe der Mündung oder beim Einschlag im Bilde festzuhalten. Später hat dann der österreichische Artilleriehauptmann Duda in seinem „Ballistographen" ein Gerät geschaffen, das als erstes dieser Art sich auch für Aufnahmen bei hohen Geschoßgeschwindigkeiten im Freien bewährt hat und sich durch seine handliche Form und seine einfache Bedienungsweise auch für feldmäßige Zwecke eignet.

Dieser ballistische Kinematograph besteht aus dem eigentlichen photographischen Aufnahme-

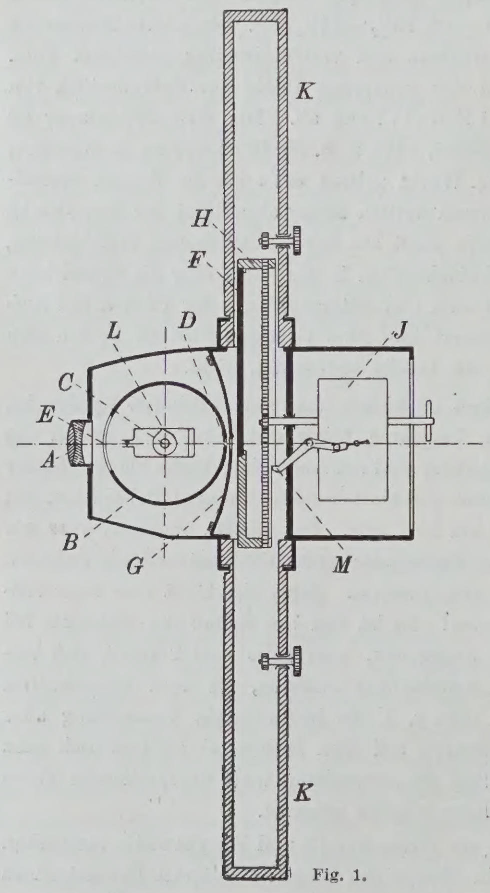


Fig. 1.

apparat und der Einrichtung zur Zeitmarkierung, dem „Mikrozeitmeßgerät“. Fig. 1 zeigt schematisch den Aufnahmeapparat im Vertikalschnitt durch die optische Achse eines Objektivs *A*. Im ganzen sind vier solcher Objektive, deren optische Achsen parallel laufen, nebeneinander und in der gleichen Ebene, der „Aufnahmeebene“, liegend, angeordnet. Hinter diesen Objektiven befindet sich die rotierende Trommel *B*, deren Achse *C* in der Aufnahmeebene liegt und zu den optischen Achsen der vier Objektive senkrecht steht. Sie besteht, wie Fig. 2 erkennen läßt, in einem Hohlzylinder aus lichtundurchlässigem Material und ist hinter jedem Objektiv mit einem schmalen Schlitz, z. B. *D*, und ihm diametral gegenüber mit einem erheblich breiteren Spalt, z. B. *E*, versehen. Zwischen dem Hohlzylinder und der photographischen Platte *F* ist noch ein gewölbtes Blech *G* angebracht, das vier in der Aufnahmeebene verlaufende Schlitze trägt, von denen zu jedem Objektiv je einer gehört. Eine photographisch wirksame Belichtung der Platte kann daher durch das betreffende Objektiv nur stattfinden, wenn die weitere Öffnung auf der Trommel dem Objektiv zugekehrt ist und der enge Schlitz unmittelbar vor dem feststehenden Blendenschlitz steht.

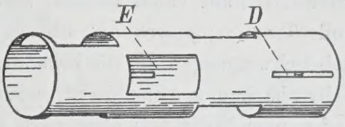


Fig. 2.

Die zusammengehörigen Schlitzpaare der Trommel sind von Objektiv zu Objektiv um je 90° zu einander versetzt, so daß nach je einer Viertelumdrehung der Trommel ein anderes Objektiv zur Aufnahme herangezogen wird. Die Umdrehungszahl der Trommel, welche durch einen auf der gleichen Achse sitzenden kleinen Nebenschlußmotor angetrieben wird, beträgt etwa 1500 pro Minute. Die Aufnahmen erfolgen auf einer allen vier Objektiven gemeinsamen Platte, die durch einen besonderen Träger *H* mittels Uhrwerk *J* aus der Oberkassette *K* in die Unterkassette *K* überführt wird. Auf diese Art entstehen auf der Platte entsprechend den vier Objektiven vier einander gleichlaufende Gruppen von Belichtungsstreifen mit Abbildungen des bewegten Körpers.

Zur Zeitregistrierung trägt das dem Motor gegenüberliegende Ende der Achse der Schlitzblendentrommel eine Nocke *L* (Fig. 1), die bei jeder Trommelumdrehung einmal eine über ihr liegende Feder abhebt und dadurch momentan einen Strom unterbricht. Die Nocke ist auf der Achse so eingestellt, daß die Stromunterbrechung genau gleichzeitig mit einer Belichtung durch das

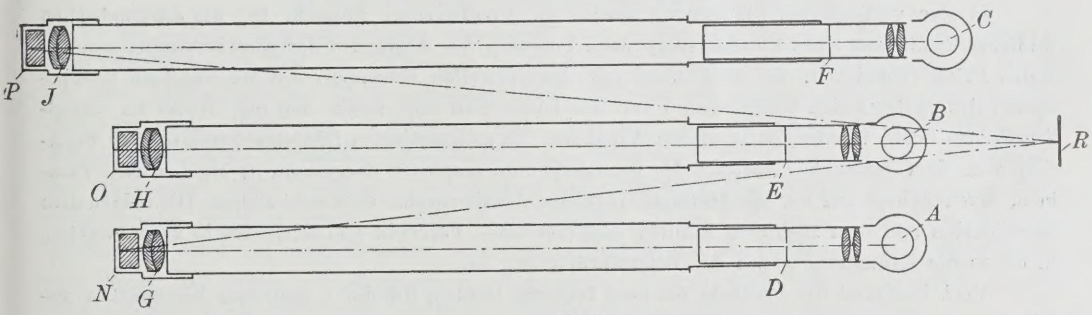


Fig. 3.

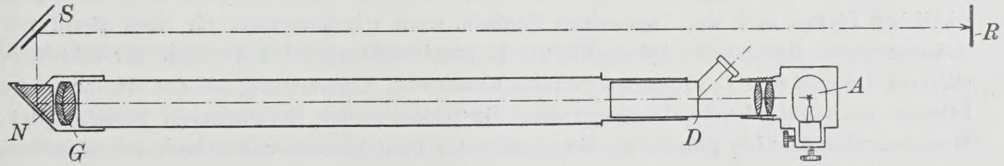


Fig. 4.

Objektiv I erfolgt. Von Belichtungsstreifen zu Belichtungsstreifen der Gruppe I liegt demnach das gleiche Zeitintervall wie zwischen zwei benachbarten Stromunterbrechungen. Die so erzeugten Stromunterbrechungen werden im Mikrozeitmeßgerät aufgezeichnet. Fig. 3 zeigt einen Horizontalschnitt, Fig. 4 einen Vertikalschnitt durch das Mikrozeitmeßgerät. Die Fäden dreier lichtdicht eingebauter Glühlämpchen *A*, *B* und *C* (Fig. 3) werden durch Linsensysteme scharf über den Diaphragmen *D*, *E* und *F* abgebildet. Der auf diese Art durch das einzelne Diaphragma erzeugte Lichtpunkt sendet seine Strahlen durch die Objektive *G*, *H* und *J*. Danach wird das einzelne

Strahlenbündel durch die Prismen *N*, *O* und *P* um 90° abgelenkt und nach Reflexion an einem Spiegelchen, z. B. *S* (Fig. 4), auf dem Filmband *R* zu einem Lichtpunkt vereinigt. Zwei dieser Spiegelchen sind auf je einer Telefonmembran, das dritte auf einer zwischen ihnen stehenden Stimmgabel festgekittet. Die auf dem Film scharf einstellbaren und in gewünschtem Abstand nebeneinander liegenden Lichtpunkte schwingen beim Ansprechen der Membrane oder beim Erregen der Stimmgabel durch ein elektromagnetisch betätigtes Hämmerchen senkrecht zur Bewegungsrichtung des Films. Die Telefone werden nun in den Stromkreis eingeschaltet, der durch die erwähnte Nocke unterbrochen wird. Da bei jeder Stromunterbrechung die Telefonmembran in schnell gedämpfte Schwingungen versetzt wird, verzeichnet der zugehörige Lichtpunkt in seinem sonst geradlinigen Lauf einen kurzen, scharf markierten Abriß. Von Abriß zu Abriß liegt demnach eine volle Trommelumdrehung. Ebenso verzeichnet der zur Stimmgabel gehörige Lichtpunkt die Stimmgabelschwingungen als die bekannten Sinuslinien. Wird der Apparat in Gang gesetzt, so ist der zur Zeitregistrierung dienende Stromkreis zunächst noch unterbrochen. Erst wenn der Plattenträger *H* auf seinem Wege von oben nach unten die Nase *M* (Fig. 1) herabdrückt, schließt diese den Stromkreis zum Mikrozeitmeßgerät, das diesen ersten Impuls des Telefons durch Abriß verzeichnet.. Zur gleichen Zeit wird durch das Objektiv I eine besondere Meßmarke abgebildet. Von dieser Meßmarke aus zählt man in der Streifengruppe I die Anzahl der Belichtungsstreifen bis zum ersten, in der Gruppe I liegenden Geschoßbild, zählt dann die gleiche Anzahl im Mikrozeitmeßgerät verzeichneter Stromimpulse und findet dadurch unter Benutzung der von der Stimmgabel bekannter Schwingungszahl aufgezeichneten Kurven den genauen Zeitpunkt dieser Geschoßaufnahme. Von ihm aus, je nach der Lage der betreffenden Geschoßbilder vor- oder zurückgehend, findet man die Zeiten der übrigen Geschoßbilder.

Durch Genauigkeitsbetrachtungen und eine Anzahl von Versuchsreihen, die vom Verfasser ausgeführt wurden, wird die Brauchbarkeit des Ballistographen und seine hohe Zuverlässigkeit erwiesen. *Wr.*

Die Bildfeldkrümmung als Funktion der Blendenstellung.

Von I. C. Gardener und J. J. Arnaud. *Journ. Opt. Soc. America* **9**. *S. 675. 1924.*

In der vorliegenden Abhandlung werden die Taylorschen Formeln für die astigmatischen Bildfeldkrümmungen eines Linsensystems nach Potenzen des Abstandes der Eintrittspupille von der ersten Fläche entwickelt. Es wird dabei nur der Spezialfall behandelt, daß die einzelnen Komponenten des Systems sich berühren und von der Dicke Null sind, sowie, daß das Objekt im unendlich Fernen liegt. Werden unter diesen Annahmen die astigmatischen Bildfeldkrümmungen in Funktion von dem erwähnten Abstand der Eintrittspupille graphisch dargestellt, so ergeben sich Parabeln, deren Achsen auf der die Abstände tragenden Abszissenachse senkrecht stehen. Die beiden dem meridionalen und dem sagittalen Bildfeld entsprechenden Parabeln schneiden sich in zwei Punkten, in denen die Krümmung gleich der Petzvalkrümmung ist.

Verf. bestimmt die Parabeln für zwei typische Dublets (Okulare), und zwar berechnet er dieselben nur für das meridionale Bildfeld, einmal mit, das andere Mal ohne Berücksichtigung der wirklichen Dicken nach den Taylorschen Formeln, sowie trigonometrisch für einen Strahl von 20° Neigung gegen die optische Achse. Für die in praxi vorkommenden Abstände der Eintrittspupille stimmen die nach den Taylorschen Formeln berechneten Krümmungen mit den trigonometrisch erhaltenen recht gut überein, besonders wenn die Dicken in den Taylorformeln berücksichtigt sind. Demnach wird für viele Zwecke die Berechnung der Bildfeldkrümmungen nach den einfacheren approximativen Taylorschen Formeln der umständlichen trigonometrischen Berechnung vorzuziehen sein, jedenfalls bei nicht zu großen Winkeln. Denn bei solchen wird die Ungenauigkeit größer, besonders bei größeren Abständen der Eintrittspupille. *Flügge.*

Die hintere Scheitelstärke eines Linsensystems.

Von T. Smith, *Trans. Opt. Soc.* **26**. *S. 31. 1924/25.*

Für manche Zwecke ist es vorteilhafter, die Brennweite nicht vom Hauptpunkt zu zählen, sondern vom letzten Linsenscheitel. Um diese mathematisch zu ermitteln, benutzt Verf. die kollinearen Transformationsgesetze, indem er zunächst als Bezugspunkte in den beiden Systemen, dem

Objektraum und dem Bildraum beliebige Punkte annimmt und dann dieselben auf Spezialfälle anwendet, insonders auf die Linsenscheitel. Auch die Beziehungen zwischen den einzelnen Komponenten eines Linsensystems und den Konstanten für das ganze System stellt Verf. auf. Auf Grund dieser Beziehungen ergibt sich ein Ausdruck für die hintere Scheitelstärke eines zusammengesetzten Systems. Für ein zweilinsiges System erhält man die Scheitelstärke durch Addition der Scheitelstärke des zweiten Bestandteils zu dem Produkt aus der Scheitelstärke des ersten Bestandteils und einem Faktor, der nur die „Wirkungsfaktoren" der Komponenten und des ganzen Systems enthält. Die Wirkungsfaktoren sind die reziproken Werte der Vergrößerungen in den Scheitelpunkten.

Flügge.

Die Theorie der Neutralisation.

Von T. Smith, *Trans. Opt. Soc.* **26**. *S. 38. 1924/25.*

Die Betrachtungen des Verf. über die hintere Scheitelstärke von Linsensystemen finden Verwendung in der Aufstellung einer exakten Theorie der Neutralisation. Die Neutralisation ist bekanntlich eine sehr gebräuchliche Methode zur Ermittlung der Stärke einer Linse durch Zusammensetzen derselben mit einer anderen Linse von bekannter entgegengesetzter Stärke. In der neuen Theorie des Verf. wird gezeigt, daß die Ausführung der Methode mit einem weiten Abstand zwischen dem Testobjekt und dem Auge des Beobachters vorgenommen werden soll. Die Beziehung zwischen den hinteren Scheitelstärken der Linsen enthält, wenn die Neutralisation exakt ist, den Abstand des Testobjektes und die Reihenfolge, in welcher die Linsen zusammengestellt sind. Die Diskussion der erhaltenen Gleichungen führt zu dem Schluß, daß das einfache Gesetz der Nullsumme für die Scheitelstärken mit weitgehender Genauigkeit als Durchschnittsresultat erhalten wird. Die Kombination sehr starker Linsen gleicher und entgegengesetzter Scheitelstärken erscheint von der einen Seite als Positivlinse, von der anderen als Negativlinse. Planlinsen sollen mit einander berührenden Planflächen geprüft werden, nicht aber unter Berührung der gekrümmten Flächen.

Flügge.

Einige beugungstheoretische Probleme.

Von E. T. Hanson, *Trans. Opt. Soc.* **26**. *S. 1. 1924/25.*

Es werden Beugungsprobleme behandelt unter Anwendung der Kirchhoffschen Formel. Und zwar berechnet Verf. die Wirkung in einem Aufpunkt, wie sie durch die Beugung von Wellen an einer halb-unendlichen Ebene verursacht wird. Es wird ein Ausdruck gefunden für den Fall, daß eine ebene Welle unter beliebigem Winkel auf einen halb-unendlichen Schirm auffällt. Der Schirm selbst ist als vollständig reflektierend angenommen und demgemäß wird auch die Wirkung der reflektierten Welle bestimmt. Des weiteren behandelt Verf. das Problem der Beugung durch einen geraden Spalt in einem unendlich-ebenen Schirm. Dieses Problem ist noch nie exakt gelöst worden. Es wird ein approximativer Ausdruck hergestellt für die Verteilung des Lichtes entlang dem Spalt, und unter Anwendung der Kirchhoffschen Formel ergibt sich ein Resultat, das mit dem von Rayleigh durch lange analytische Untersuchungen erhaltenen übereinstimmt.

Flügge.

Über Mikroskope und Doppelokulare für binokulare und stereoskopische Beobachtung.

Von E. Lihotzky, *Zeitschr. f. wissensch. Mikroskopie* **41**. *S. 305. 1924.*

Die stereoskopische Wirkung bei der Betrachtung eines Objekts mit beiden Augen beruht wesentlich darauf, daß die auf der Netzhaut eines jeden Auges entstehenden Bilder parallaktische Verschiebungen gegeneinander aufweisen. Die Erzielung einer solchen Wirkung bei binokularen Mikroskopen mit nur einem Objekt hat man auf zwei verschiedene Arten zu erreichen versucht. Nach der einen Art wird mit beiden Augen durch die gleichen Partien des Objektivs geblickt, bei der andern bestehen Maßnahmen, die Augen durch voneinander getrennte Teile des Objektivs sehen zu lassen. Nur der letztere Fall erzielt eine eigentlich stereoskopische Wirkung. Die Teilung des Strahlenganges hinter dem Objektiv geschieht bei beiden Methoden meist durch zweckmäßig angebrachte Prismen, die das Licht nach den beiden Okularen leiten. Die spezifisch stereoskopischen Mikroskope, bei welchen also die Objektivpupille geometrisch so geteilt wird, daß jedem Auge nur

gewisse Teile zum Durchblick offenstehen, zeigen nachteilige Begleiterscheinungen, indem die Auflösungskraft verringert ist und die Fehlerreste des Objektivs stärker zur Einwirkung gelangen. Diesen Nachteil haben die binokularen Mikroskope der anderen Gruppe nicht, doch geben sie keine ausgesprochen stereoskopische Wirkung. Vom Verf. wird nun eine neue Anordnung beschrieben, bei welcher eine stereoskopische Wirkung erreicht wird, ohne die Objektivpupille teilen zu müssen. Hinter einer die Strahlenteilung bewirkenden halbdurchlässigen Schicht werden zwei Bilder der Objektivpupille entworfen, deren jedes von einem Auge durch das Doppelokular betrachtet wird. Um Stereoskopie zu erzielen, wird das eine Bild durch eine Blende passend beschnitten. Dieses Verfahren ist in dem neuen Stereotubusaufsatz der Firma Leitz zur praktischen Anwendung gelangt. Äußerlich unterscheidet sich dieser in nichts von den bisherigen Ausführungen. Die innere Einrichtung dagegen bringt das Neue. Unterhalb des Scheideprismas befindet sich ein okulerartiges System, welches die Strahlen zunächst zwischen den beiden Linsen dieses Systems vereinigt. Die Teilung des Strahlenganges wird dann an einer halbversilberten Schicht des Scheideprismas vorgenommen, worauf zwei Bilder in den zugehörigen Okularen erzeugt werden. Wäre das Prisma nicht vorhanden, so würde durch das okulerartige System ein reelles Bild der Objektivpupille etwas oberhalb der zweiten Linse entstehen. Durch die Strahlenteilung aber entstehen deren zwei. An dem Ort des einen Bildes befindet sich nun der Blendschirm, der eine beliebig starke Abblendung gestattet. Er kann von außen durch einen Knopf beliebig weit in den Strahlengang eingeführt und außerdem noch in der Richtung des Strahlenganges verschoben werden. Der Stereo-Tubusaufsatz kann an jedem Instrument angebracht werden. Insbesondere ist auch die Herstellung von Mikro-Stereophotogrammen möglich. Eine dafür besonders geeignete Apparatur wird angekündigt. *Flügge.*

Das Kühlen und Nachkühlen von Glas.

Von W. M. Hampton, *Trans. Opt. Soc.* **26.** *S. 14. 1924/25.*

Wenn Glas erhitzt wird, so treten im Innern desselben durch das dort bestehende Temperaturgefälle Spannungen auf, die so lange anhalten, bis bei genügend hoher Temperatur Konvektionsströme einsetzen, die einen Ausgleich der Spannungen herbeiführen, auch wenn weiter ein Temperaturgefälle beibehalten wird. Diese Vorgänge im Glase quantitativ zu erfassen und gesetzmäßig zu begründen, ist die Aufgabe der vorliegenden Abhandlung des Verf. Insbesondere gibt Verf. daran anschließend Weisung, wie ein schlecht gekühltes Glas zwecks Beseitigung der vorhandenen Spannungen nachzukühlen ist. Denn auch auf Abkühlung des Glases sind dieselben Gesetze anzuwenden, weil die Vorgänge im Glase in umgekehrter Reihenfolge stattfinden. Die erhaltenen Gesetze stellen Beziehungen her zwischen den Spannungen bei Beginn des Kühlens, den Spannungen, die als Folge des Temperaturgradienten auftreten, und den Spannungen, die nach beendetem Kühlen noch vorhanden sind. Die Gleichungen enthalten eine gewisse Konstante, die von der Größe und Form des Glases abhängen. Die Auswertung dieser Konstanten führt Verf. für den Fall von flachen Glasplatten aus. Für verschiedene Glasarten und Plattengrößen gibt Verf. Tabellen zur Veranschaulichung der temporären (durch das Temperaturgefälle hervorgerufenen) Spannung, die als permanente Spannung übrig bleibt. Von besonderem praktischen Wert sind die Betrachtungen über die Temperatur, bei welcher der Kühlprozeß auszuführen ist, und über die Bedingungen für das vollständige Kühlen des Glases. Auch die Bedingungen, die zu einer minimalsten Kühldauer führen, werden erörtert. Zum Schluß werden die Fehler in der Temperaturmessung diskutiert und Tabellen gegeben für das Kühlen verschiedener Glassorten. *Flügge.*

Spektralphotometer zu Messungen mit der Photometerbank.

Von B. Eitner, Karlsruhe. *Zeitschr. f. techn. Phys.* **6.** *S. 201. 1925.*

Es wird die Bauart eines Spektralphotometers beschrieben, das wie ein gewöhnlicher Photometerkopf auf der Photometerbank benutzbar ist.

Fig. 1 und 2 zeigen den Apparat im Horizontal- und Vertikalschnitt; hierin bedeuten:

A der Photometerkopf,
B das Kollimatorrohr,
C das Dispersionsprisma,
D das Beobachtungsfernrohr,
E das Skalenrohr mit Beleuchtungsspiegel.

Das von beiden Seiten parallel der Photometerachse einfallende Licht fällt nach Totalreflexion an den Prismen T_1 uud T_2 auf die diffus durchlässige Platte M. Von den beiden Parallelepipeden P_1 und P_2 ist das eine (P_2) so justiert, daß seine spitzwinklige Kante in der Symmetrieebene des Gehäuses liegt, während die entsprechende Kante von P_1 zurückliegt und hinter der Austrittsfläche von P_2 verschwindet. Durch geeignete Wahl des spitzen Flächenwinkels an den Parallelepipeden erscheint die Austrittsfläche überall ganz gleichhell; die Kante von P_2 ragt in das Feld von P_1 hinein und bildet eine scharfe Grenze ohne Störung durch Beugung oder Störungen durch Licht, das von der Austrittsfläche des zurückliegenden Parallelepipeds auf die schräge Seitenfläche des anderen dringt.

Unmittelbar vor der Austrittsfläche des vorderen Parallelepipeds in verschwindend kleinem Abstande von ihr liegt der Spalt des angebauten Spektralapparates. Beim Gebrauch des Apparates empfängt der Spalt sein Licht in der einen Hälfte von dem vorstehenden, in der anderen Hälfte von dem zurückliegenden Parallelepiped, wobei die fast in der Spaltebene liegende und zur Spaltrichtung senkrecht stehende Kante des vorderen Parallelepipeds die Grenze zwischen beiden Spalthälften bildet.

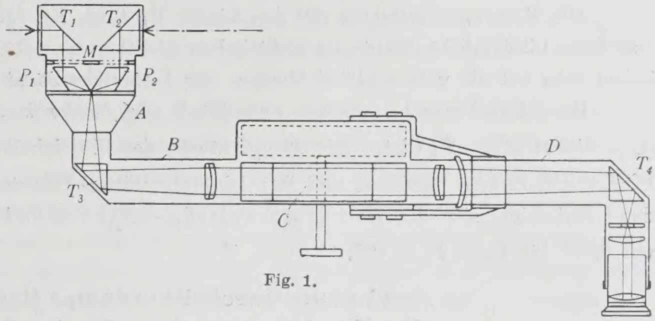


Fig. 1.

Der ganze Photometerkopf mit Spalt kann zur Vermeidung von Fehlern durch Asymmetrie um 180° gedreht werden.

Nach Reflexion an T_3 und Passieren der Kollimatorlinse fällt das parallele Strahlenbündel auf das geradsichtige Dispersionsprisma C. Die Objektivlinse des Beobachtungsfernrohrs entwirft in der Brennebene ein reelles Spaltbild, d. h. zwei parallele, ohne Trennungslinie aneinander angrenzende, vertikal verlaufende Spektren. In derselben Ebene ist ein horizontaler, nach Breite und Lage einstellbarer Okularspalt angebracht, um aus den Spektren die Bezirke bestimmter Wellenlängen, in denen die Lichtstärkeverhältnisse ermittelt werden sollen, herauszublenden. Kurz vor dem Okularspalt ist in das Fernrohr das totalreflektierende Prisma T_4 eingebaut, das die Strahlen in horizontaler Richtung um 90° ablenkt, so daß sie senkrecht zur Photometerachse durch den Spalt in das Okular eintreten.

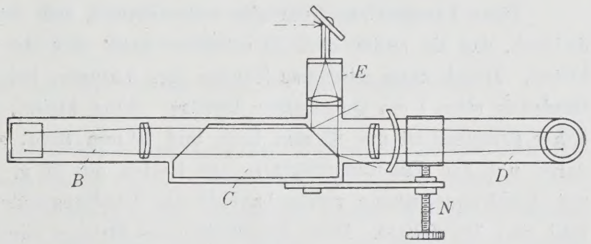


Fig. 2.

Um jede Stelle des Spektrums in die Mitte des Gesichtsfeldes bringen zu können, ist das Fernrohr mit Hilfe der Stellschraube N um eine horizontale Achse drehbar; vertikal über der Austrittsfläche des Dispersionsprisma befindet sich zur Feststellung der Wellenlänge ein in üblicher Weise gebautes Skalenrohr.

Der auf der Bank verschiebbare Photometerschlitten, auf dem der ganze Apparat montiert ist, trägt auch einen Halter für die Hefnerlampe; mit dem Apparat ausgeführte Messungen sind bezogen auf die Lichtstärke der spektral zerlegten Hefnerlampe als Einheit; als Beispiel sind die spektralen Lichtstärkekurven für einen Auerbrenner und eine Nitralampe gegeben. Absorptionsmessungen lassen sich ebenfalls mit dem Eitnerschen Spektralphotometer ausführen. *Dz.*

Eine verbesserte Heizeinrichtung für das Refraktometer nach Pulfrich.

Von M. Lowry und G. Parker. *Journ. of scient. Instr.* **1.** *S. 16. 1923.*

Der Erhitzungsapparat beim Refraktometer ermöglicht es, Flüssigkeiten bis zu 100° φ und darüber zu untersuchen. Wie die Verf. zeigen, führt das Arbeiten damit aber zu stark unrichtigen

Resultaten, weil die Temperatur T_F der zu prüfenden Flüssigkeit merklich von der gemessenen Temperatur T_W des Warmwasserstromes abweicht. Bezeichnet man noch die Zimmertemperatur mit T_R, so ergab sich für ein Refraktometer der Firma Zeiss der Fehler im Mittel etwa zu

$$\frac{T_W - T_F}{T_W - T_R} = 0{,}036\,.$$

Ist also z. B. $T_R = 20$ und $T_W = 80$, so wird T_F um $2{,}2^0$ unrichtig bestimmt.

Um diesen beträchtlichen Fehler herabzumindern, haben die Verf. bei Adam Hilger eine verbesserte Heizeinrichtung herstellen lassen. Die Röhren, durch die das Heizwasser fließt, wurden wesentlich weiter gewählt, und es wurde das überstülpbare Holzstück, das zum Schutz der Flüssigkeit gegen Wärmeverlust durch Strahlung dient, durch einen hohlen Schutzmantel ersetzt, welcher gleichfalls vom Heizstrom durchflossen wird und die die Flüssigkeit enthaltende Glasröhre auf drei Seiten umhüllt. Damit ergab sich der Fehler zu 0,018, also dem halben Betrage von vorher.

Die Messungen erfolgten mit den Linien Hg 4358, Hg 5461, Hg 5791, Na 5893 und Li 6708. Das helle Lithiumlicht wurde im elektrischen Lichtbogen zwischen zwei Kupferelektroden erzeugt, indem man auf die untere kleine Mengen von Lithiumkarbonat brachte.

Besondere Versuche wurden ausgeführt zum Nachweise, daß $(T_W - T_F)$ in der Tat nahezu proportional $(T_W - T_R)$ ist. Die Temperaturen der Flüssigkeit und des Wasserstroms wurden mit Platinthermometern bestimmt und ihre Differenz mittels Wheatstonescher Schaltung gemessen. Alsdann erniedrigte sich der Wert $(T_W - T_F):(T_W - T_R)$ von 0,044 für $T_W - T_R = 10^0$ allmählich bis auf 0,035 für $T_W - T_R = 60^0$. *Schck.*

Zwei neue Quecksilberdampf-Bogenlampen.

Von Henri George. *Revue d'Optique 4. S. 82. 1925.*

Diese Lampen aus Quarzglas unterscheiden sich von den bisher gebräuchlichen hauptsächlich dadurch, daß sie außer dem Quecksilber noch eins der Edelgase Argon, Helium oder Neon enthalten. Durch diese wird das Zünden der Lampen bei Wechselstrom sehr erleichtert, wenn der Gasdruck etwa 1 cm Quecksilber beträgt. Eine kleine, sehr handliche Lampe für Wechselstrom hoher Frequenz ist nur 85 mm hoch und 40 mm breit, enthält sehr wenig Quecksilber und wiegt daher mit den Zuleitungsdrähten und Perlen nur 95 g. Sie verbraucht 400 Watt, ihre Speisung mit Hochfrequenzstrom veranschaulicht das Schaltungsschema Fig. 1; dabei beträgt die Schwingungszahl etwa 750000/sec. Beim Einschalten des Stromes zündet die Lampe sofort; das Edelgas leuchtet

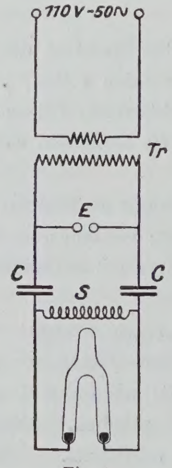


Fig. 1.

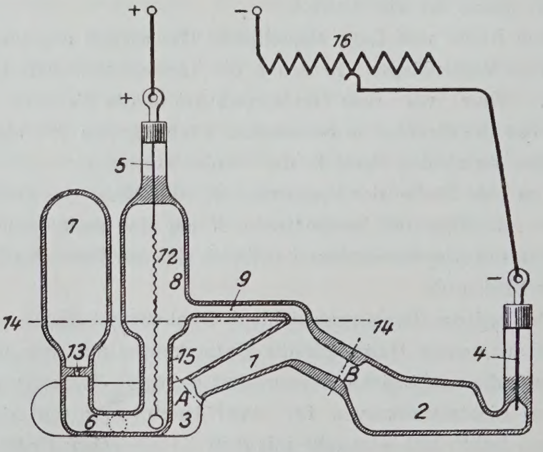


Fig. 2.

nur einige Sekunden, worauf das Quecksilberlicht sogleich zu voller Intensität ansteigt. Es zeigt ein kontinuierliches Spektrum, auf dem sich die hellen Linien abheben. Als ergiebige Quelle für Ultraviolett bis etwa 2200 Å. E. kann die Lampe in physikalischen und medizinischen Laboratorien mannigfaltige Verwendung finden.

Die zweite mit Gleichstrom von 3 A brennende Lampe für 110 V Netzspannung ist mit völlig trockenem Argon von etwa 50 cm Quecksilberdruck gefüllt. Die Fig. 2 läßt die Konstruktion dieser Lampe erkennen; das Quecksilbergefäß 3 der Anode steht mit dem angeschmolzenen Rohr 6 in Verbindung. Die Lampe wird unter Vorschalten des Widerstandes 16 an die Netzspannung gelegt und zündet, ohne daß sie geneigt zu werden braucht. Anfänglich steht das Quecksilber in ihr bis zur Linie 14. Nach Schließen des Stromes wird das Chromnickelband 12 rotglühend, das sich erwärmende und ausdehnende Argon in 8 drückt das Quecksilber durch die ein Millimeter weite Öffnung 13 in den Behälter 7, bis sich im Leuchtrohr 1 das Quecksilber trennt und der Lichtbogen bildet. Sehr schnell tritt dann das Quecksilber bis zu den Linien *A* und *B* zurück, so daß das Rohr 1 alsbald in seiner ganzen Länge mit Licht gefüllt ist. Wird der Strom geöffnet, so ist nach einigen Sekunden das Quecksilberniveau 14 wieder erreicht. Zwischen Stromschluß und Aufleuchten des Quecksilberbogens vergehen noch nicht 5 Sekunden, und bereits nach 5 Minuten ist der Dauerzustand erreicht, wobei die Klemmspannung an der Lampe auf 80 V steigt. Bei nicht gasgefüllten Lampen währt dies dagegen etwa 15 Minuten. Im Gegensatz zu diesen letzteren Lampen können die gasgefüllten ohne jede Gefahr mit der Post versandt werden, weil durch das Gas das Schlagen des Quecksilbers verhindert wird.

Auch diese Lampe gibt neben den Quecksilberlinien ein sehr helles kontinuierliches Spektrum, während sich das Argonspektrum garnicht bemerkbar macht. Ihre Flächenhelle soll die einer gasleeren Lampe unter sonst gleichen Umständen merklich übertreffen. Übrigens weisen naturgemäß die Spektren dieser drei Arten von Lampen große Unterschiede auf. Wegen der sehr verbreiterten Spektrallinien können die neuen Lampen natürlich nicht zu interferometrischen Messungen verwendet werden. Dagegen scheint die gasgefüllte Gleichstrom-Bogenlampe für Absorptionsmessungen im Ultraviolett, sowie für photochemische Untersuchungen recht geeignet zu sein. *Schck.*

Eine Umkonstruktion des Zweifaden-Elektrometers.

Von Theod. Wulf. *Physik. Zeitschr.* **26.** *S. 352. 1925.*

Ein Zylinderkondensator zur Messung kleiner Kapazitäten.

Von demselben. *Ebenda.* **26.** *S. 353. 1925.*

In dem ersten Aufsatze wird eine konstruktive Änderung des Wulfschen Zweifadenelektrometers (Physikal. Zeitschr. 1909 S. 251) beschrieben, die es ermöglichen soll, das Fadensystem leicht aus dem Gehäuse herauszunehmen, da es öfter unangenehm empfunden wurde, daß zum Einsetzen neuer Fäden jedesmal das ganze Instrument eingeschickt werden mußte. Die Instrumente werden im allgemeinen mit Fäden von etwa 4 μ Dicke versehen; für Projektionszwecke werden zweckmäßigerweise dickere, für besondere Feinmessungen auch noch dünnere Drähte eingesetzt.

Zu einer neuen Verwendung gelangt das Wulfsche Elektrometer bei der in dem zweiten Aufsatze beschriebenen Messung von außerordentlich kleinen Kapazitäten mit Hilfe eines Zylinderkondensators veränderlicher Kapazität. Der Zylinderkondensator besteht im wesentlichen aus einem festen Zylinder in dem koaxial ein zweiter Zylinder mit Hilfe einer Schraube bewegt werden kann. An einer in dem Schutzgehäuse des Kondensators eingeritzten Skala lassen sich die ganzen Umdrehungen, an einer Teiltrommel noch $^1/_{100}$ Umdrehungen der Schraube ablesen.

Währeed bisher Zylinderkondensatoren in der Weise zu Kapazitätsmessungen benutzt wurden, daß man die Gesamtkapazität des Meßkondensators mit der unbekannten Kapazität verglich, verwendet der Verfasser zum Vergleich nur die Kapazitätsänderung des Meßkondensators. Die Messung wird so ausgeführt, daß die unbekannte Kapazität zu dem Meßkondensator mit Elektrometer zugeschaltet und die Kapazität des Meßkondensators so lange verkleinert wird, bis die anfängliche Elektrometerspannung wieder erreicht ist. Dann ist die unbekannte Kapazität gleich der Kapazitätsänderung des Meßkondensators und diese ergibt sich aus der Zahl der Trommeldrehungen durch einfache Rechnung nach der bekannten Kapazitätsformel für den Zylinderkondensator. Durch Messungen wird vom Verfasser der Nachweis erbracht, daß die Kapazitätsänderung des Kondensators praktisch eine lineare Funktion der Längenverschiebung ist. Das Elektrometer dient bei der Messung als „Nullinstrument“, d. h. seine Angaben sind von seiner Volteichung nicht abhängig.

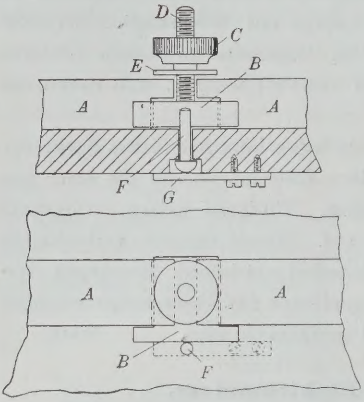
Der Kondensator ist zunächst zur Messung von Kapazitäten von 25 cm abwärts gedacht. Zur

Vermeidung von Fehlern bei solchen Bestimmungen werden eine Reihe von Vorsichtsmaßregeln angegeben. Unter Verwendung einer von Harms und Gerdien benutzten Methode können jedoch auch größere Kapazitäten bis etwa 300 cm mit dem vorlegenden Gerät noch einwandfrei gemessen werden. *Lh.*

Kontakt-Konstruktion für Widerstandskästen.

Von G. Barlow und H. B. Keene. *Journ. of Scient. Instr. 2, S. 151. 1925.*

An Stelle der bei Widerstandsbrücken im allgemeinen verwendeten konischen Stöpsel zum Kurzschließen der Widerstände wird eine neue Kontakt-Konstruktion beschrieben. In den Spalt zwischen den zwei Messingschienen *A A* (s. Fig.), an denen die Enden des kurzzuschließenden Widerstandes angeschlossen sind, wird das Ebonitstück *B* eingeschoben, das Mutter und Schraube *C, D* trägt. Die Ausführung der Mutter *C* mit der federnden Flansche *E* gewährleistet einen guten Kontakt zwischen Mutter und Messingschiene. Der Bolzen *F*, der durch eine Feder *G* nach oben gedrückt wird, hält das Ebonitstück *B* in seiner Lage in dem Spalt zwischen den beiden Messingschienen fest. Drückt man den Bolzen *F* nieder, so kann die Kontaktvorrichtung leicht herausgeschoben werden, so daß eine bequeme Reinigung der Kontaktflächen möglich ist. Die Größe des Übergangswiderstandes eines solchen Kontaktes ist zu $1{,}3 \times 10^{-4}$ Ohm angegeben.



Besondere Sorgfalt ist weiterhin bei der in dem Aufsatze beschriebenen Brücke auf die Anordnung des Brückenschleifdrahtes verwendet worden. Beide Enden des Drahtes sind in runde Messingzapfen eingelötet, die durch Einklemmen in der Bohrung von geschlitzten Messingklötzen festgemacht sind. Zur Erzielung eines einwandfreien Stromübergangs ist in die Messingzapfen auf der anderen Seite ein Kupferdraht eingelötet, der den Schleifdraht mit den anderen Teilen der Brücke verbindet. In einfacher Weise ist ferner dafür Sorge getragen, daß der Brückenschleifdraht jederzeit bequem nachgespannt werden kann. *Lh.*

Bücherbesprechungen.

E. Lester Jones, *Annual Report of the Director, U. S. Coast and Geodetic Survey, for the fiscal year ended June 30, 1924.* IV und 80 S., 8°, mit Abb. Diagrammen und Kartenskizzen. *Washington, Govt. Printing Office 1924.*

Dieser Jahresbericht des *U. S. Coast and Geodetic Survey,* der 93ste seit dem 108-jährigen Bestehen des Survey, gibt ein anschauliches Bild der trotz mancher Hemmnisse energisch fortschreitenden Arbeit dieses Instituts, auf das die Vereinigten Staaten stolz sein können. Er ist diesmal auch im Sinne unserer Zeitschrift besonders wichtig, weil er in einem besondern Abschnitt (S. 11 bis 13, vgl. auch S. 42) nachdrücklich hinweist auf die Notwendigkeit *instrumenteller* Fortschritte zur Verfeinerung, Abkürzung und damit Verbilligung der Messungen. Viele Instrumentenmodelle des Survey haben einen hohen Grad von Vollkommenheit erreicht, wie ihre Anwendung auch in andern Ländern, bei andern amerikanischen Behörden und amerikanischen Stadtvermessungen beweise, doch wäre freiere fortschrittliche Arbeit im Sinne der Instrumentenkunde erwünscht, sie werde aber erschwert durch das zu schwache Personal der Instrumentenabteilung, das sehr in Anspruch genommen sei durch Instandhaltung der im laufenden Felddienst gebrauchten Instrumente und Geräte. Erwähnt werden von neuern Einrichtungen besonders eine Teilmaschine für Nivellierlatten, die die frühere langsame und peinliche Teilung und Bemalung auf $^1/_4$ der damals erforderlichen Zeit abkürzen soll (leider wird die Maschine weder beschrieben noch abgebildet, was wohl einer besondern Veröffentlichung vorbehalten bleibt); ferner eine Vorrichtung an den Invar-Nivellierlatten, die den Invar-Teilstreifen unter einer bestimmten Spannung hält und dadurch den infolge des frühern „sagging“ unter seinem eigenen Gewicht entstandenen kleinen Fehler eliminiert.

Ferner werden erwähnt verschiedene Verbesserungen an ältern tragbaren Wasserstandsmessern, sowie das kleine und leichte Rudesche Instrument dieser Art (vgl. *diese Zeitschr., lfd. Jhrg., S. 261*); sodann die durchaus selbsttätigen elektrischen Lichtsignale bestimmter Brenndauer für die nächtliche Winkelmessung in der Triangulation (vgl. ebenf. *diese Zeitschr.* ***44.*** *S. 564. 1924*). Ein neuer „radioakustischer" Entfernungsmesser zur Bestimmung des Schiffsorts bei Lotungen soll sich gut bewährt haben; das Schallzeichen gibt die Explosion einer Bombe in Form einer Konservenbüchse, die mit Trinitrotoluol gefüllt ist. Für die hydrographische Abteilung sind ferner zwei neue Formen elektrischer Lotmaschinen hergestellt worden, die eine sehr wesentliche Beschleunigung der Tiefenlotungen bei viel geringerer Zahl von Brüchen der Lotungsdrähte ermöglichen; das eine der Modelle ist für tiefes, das andere für seichtes Wasser bestimmt. Von der Notwendigkeit der Verfeinerung und gleichzeitig Abkürzung und Verbilligung der Messungen der Schwerkraftbeschleunigung war hier bereits kürzlich bei der Besprechung eines Berichtes von W. Bowie die Rede (vgl. *diese Zeitschr., lfd. Jhrg., S. 261*); die vorliegende Veröffentlichung kommt auf die Sache zurück durch dieMitteilung, daß in der Union neben dem Entwurf eines neuen g-Meßinstruments von Michelson, das auf einer besondern Art von Interferometer beruht, zwei weitere neue Konstruktionen versuchsbereit vorliegen: die eine davon (F. E. Wright vom Physical Laboratory) benutzt eine Quarz-Spiralfeder, die zweite (T. E. Thompson, Aberdeen Proving Grounds) die Messung der Beschleunigung eines frei fallenden Körpers mit Hilfe einer Quarz-Stimmgabel. Die Laboratoriumsversuche mit der Einrichtung von Dr. Wright scheinen recht günstige Ergebnisse geliefert zu haben.

Weiter auf Einzelheiten des inhaltreichen Berichts, insbesondere auf die einzelnen ausgeführten Arbeiten einzugehen, ist hier nicht möglich. Es sei nur etwa noch erwähnt, daß jetzt auch in der Union die Methode der *Triangulation* für die gegenseitige Festlegung von Punkten, z. B. durch Berechnung geographischer (ellipsoidischer) Koordinaten auf der Vermessungsfläche, die Methode der direkten („astronomischen") Bestimmung der Positionen mehr und mehr verdrängt, da diese durch die Lotabweichungen u. U. stark entstellte Entfernungen liefert (vgl. z. B. S. 63), insbesondere bei verhältnismäßig wenig weit von einander entfernten Punkten. Die „astronomische" Methode der Punktfestlegung kommt *topographisch* wenig mehr in Betracht, vielmehr im wesentlichen, von Forschungsreisen abgesehen, nur für die *wissenschaftlichen* Zwecke der Erdmessung; für *topographische* Zwecke z. B. als Rückgrat einer topographischen Karte größern Maßstabs, ist nur die Triangulation brauchbar. So werden z. B. die Grenzlinien zwischen Staaten der Union oder zwischen Counties ein und desselben Staats durch Triangulationen festgelegt, wofür als Beispiele die neuen Dreiecksketten entlang dem Red River (Grenze der Staaten Texas und Oklahoma) und die entlang der Grenze zwischen den Counties Yavapai und Maricopa in Arizona, die in dem Bericht erwähnt werden, angeführt seien. Daß die Grenze zwischen den Gebieten der Union und Kanada auf der ganzen ungeheuren Strecke vom Lake of the Woods gegen Westen bis zum Pazifischen Ozean vor einigen Jahrzehnten noch durch einzelne „astronomisch" bestimmte Polhöhen (doppelt, durch Ingenieure des C. and G. S. und kanadische Ingenieure gemessen) festgelegt wurde, hatte seinen Grund in der Definition dieser Grenze (der Parallel $49^0\,0'\,0''$), worunter man eben den „astronomischen" Parallelkreis 49^0 zu verstehen übereinkam. Freilich zwingen gelegentlich örtliche Verhältnisse auch jetzt noch zum Verlassen der Triangulation und etwa Ersetzung durch feine Zugmessung (precise traverse); so ist z. B. im Berichtsjahr eine Strecke der Union/Kanada-Grenze, die durch den Talweg von Flüssen und Mittellinien von Seen definiert ist, nämlich vom Lake of the Woods gegen Osten bis zum Rainy River durch eine Zugmessung, bei der die Strecken auf dem Eise gemessen wurden, ersetzt worden; eine Triangulation hätte hier wegen der Bodengestaltung (geringe Höhenunterschiede) und wegen der dichten Bewaldung ungeheure Kosten verursacht (vgl. S. 70/71). Die Strecken wurden, wie bemerkt, auf dem Eise im tiefen Winter, bei Temperaturen bis -38^0 F., gemessen, die Polygonwinkel im Sommer bei offenen Gewässern. Ein Referat über diese bisher wohl einzig dastehende Messung babe ich kürzlich in den „Allg. Vermess. Nachrichten" ***36.*** *S. 549. 1924* veröffentlicht. Aber selbst ältere Triangulierungen, wie die dem Mississippi entlang oder die auf Hawaii, werden jetzt für die Topographie nutzbar gemacht. Von großem geophysikalischem Interesse sind die durch Wiederholung eines Teils der kalifornischen Küstentriangulation I. O. festgestellten großen Horizontalverschiebungen der dortigen Dreieckspunkte. *Hammer* †.

J. Drecker, Die Theorie der Sonnenuhren. Gr. 4⁰, 112 S. mit 140 Abb., Ver. Wiss. Verl. Berlin-Leipzig 1925.

Von dem Band I des von Prof. Dr. E. v. Bassermann-Jordan herausgegebenen Werkes „Die Geschichte der Zeitmessung und der Uhren" ist die Lieferung E erschienen, die zum Verfasser J. Drecker hat. Während C. Schoy in der Lieferung F die Gnomonik der Araber behandelt, hat sich Drecker die Theorie aller Sonnenuhren zum Ziel gesetzt. Daß bei der Wahl dieser beiden nahe aneinander liegenden Themen gewisse Überschneidungen in den Ausführungen stattfinden, ist ohne weiteres klar. Drecker bespricht zunächst die Theorie der einfachen Sonnenuhren, wie sie uns schon bei Schoy begegnet sind, die Horizontal-, die Vertikal- und eine nach Süden offene Zylinderuhr, bei der sich im Gegensatz zu der bei Schoy beschriebenen das Zifferblatt auf der Innenseite des Zylindermantels befindet, im Anschluß an die Betrachtungen der ältesten Schriftsteller, Vitruv und Ptolemäus. Der erstere erhält das Zifferblatt auf konstruktivem Wege, den er allerdings nicht ganz durchführt, den aber Drecker in sehr glücklicher Weise zu Ende führt. Die Konstruktion besteht in der Zeichnung des Grund- und Aufrisses der Durchstoßpunkte des Schattens von dem zur Uhrebene senkrechten Gnomon mit dieser Ebene. Ptolemäus legt seinen Betrachtungen die drei Ebenen, den Horizont, den Meridian und den durch den Ost- und Westpunkt gehenden Vertikalkreis zugrunde. Die Probleme löst Ptolemäus auf rechnerischem und zeichnerischem Wege, wobei ihm für die erste Art nur die trigonometrische Funktion des Sinus zur Verfügung steht. Wenn sein Weg daher auch sehr umständlich ist, so ist es doch ungemein reizend, die Arbeitsmethode dieses griechischen Klassikers kennen zu lernen. Sehr interessant ist das zweite Kapitel der Abhandlung über die allgemeine Natur der Linien der örtlichen Stunde. (Vgl. dazu das Referat über die Lieferung F in *dieser Zeitschrift* **45.** *S.* 405. *1925.*) Schon der bekannte Araber Al-Bîrûnî (973—1048) äußert in seinem Buch über das Astrolab (Kitâb fî Istîʿâb) Bedenken, daß diese Linien auf der Kugel Kreise sind und verweist auf eine von ihm verfaßte, aber uns nicht mehr erhaltene Schrift. Aber selbst Delambre ist noch eine Zeitlang der Ansicht, daß sie Kreise sind, obwohl schon der Bamberger Jesuit Chr. Clavius den Beweis erbracht hat, daß dies nicht der Fall ist. Auf Grund der Betrachtungen von W. A. Cadell und T. S. Davies gibt Drecker die Theorie. Die Stundenlinien sind auf der Kugel Kurven höherer Ordnung; so läuft die erste Stundenlinie für ein angenommenes Beispiel (für Athen) fünfmal um die Kugel. Auf den Zifferblättern der einzelnen Sonnenuhren nehmen diese Linien verschiedene Formen an. In den folgenden Kapiteln geht der Verfasser auf die einzelnen Arten der Sonnenuhren ein. Von den ältesten Sonnenuhren, dem *πόλος* (es ist dieser die Skaphe in der Lieferung F), ist anscheinend nur ein einziges, 1843 bei Cannstatt gefundenes, Exemplar vorhanden; eine Abart davon ist das Hemicyclium, bei dem von der hohlen Halbkugel die Teile weggenommen sind, auf die im Laufe des Jahres überhaupt kein Schatten fällt. Daher kann man auch von der Seite diese Sonnenuhr ablesen. Der Verfasser behandelt die orthogonale Projektion der Stundenlinien dieser Uhr sowohl auf die Meridian- wie auf die Äquatorebene, sich der rechtwinkligen wie der Polarkoordinaten bedienend. In der ersteren Ebene sind die so erhaltenen Kurven für verschiedene Deklinationen algebraische Kurven 1. bis 12. Ordnung mit einer mehr oder minder großen Zahl von Doppelpunkten (die Ein-Uhr-Linie hat deren 50) und mehrfachen Berührungspunkten in den Polen. Auch in der Äquatorebene sind die Projektionen der Stundenlinien Kurven höherer Ordnung, die innerhalb eines Kreisringes verlaufen, dessen Begrenzungskreise die Radien sin φ und 1 haben. Nur die Mittagslinie ist eine Gerade. Da für die eigentliche Sonnenuhr nur eine begrenzte Zahl von Deklinationswerten in Betracht kommt, werden aus diesen Kurven nur bestimmte Stücke, die einfachere Gestalt haben, herausgeschnitten. Die Konstruktion der allgemeinen Form der Stundenlinien wäre ja den Alten unmöglich gewesen. Sie dürften meiner Ansicht nach die Sonnenuhren nur auf empirischem Wege konstruiert haben, indem sie die Schattenpunkte zu den verschiedenen Stunden im Laufe des Jahres auf dem Zifferblatt aufgezeichnet haben. Viel verwickelter ist die Konstruktion der kugelförmigen Sonnenuhr, bei der die Gnomonspitze nicht wie bei den genannten Formen im Kugelmittelpunkt, sondern auf der Kugeloberfläche sich befindet. Die Gnomonspitze vertritt hier eine kleine Öffnung in der Kugeloberfläche. Ein gut erhaltenes Exemplar befindet sich im Berliner Museum, das schon F. Woepcke beschrieben hat, wenngleich er, wie der Verfasser zeigt, das Wesen dieser Uhr nicht

erkannte. Die Tageskurven projizieren sich in der Meridianebene als Parabeln, die alle durch die Gnomonöffnung gehen, in der Äquatorebene als Paskalische Schnecken, von denen die für die Deklination Null ein Kreis wird. Die Projektionen der Stundenlinien sind ebenfalls in der allgemeinen Form sowohl in der Meridian- wie in der Äquatorebene Kurven höherer Ordnung. Die Stundenangaben der Berliner Uhr weichen von den theoretischen Werten zeitweise um 18 Minuten ab. Ich möchte nicht dem abfälligen Urteil des Verfassers über die Konstruktion dieser Uhr beitreten. Es war doch eine nicht zu unterschätzende Leistung, die komplizierten Kurven bei den damaligen primitiven mathematischen Kenntnissen zu zeichnen. Der Verfasser behandelt sodann eine kugelförmige Sonnenuhr, bei der die Gnomonspitze im Innern der Kugel, aber nicht im Mittelpunkt sich befindet. Von einer solchen Uhr ist in Pergamon ein Stück ausgegraben worden. Auch hier sind die Projektionen der Tageskurven und Stundenlinien in beiden Ebenen Kurven höherer Ordnung.

Im 4. Kapitel werden die Kegeluhren behandelt. Hier dient im Gegensatz zu den von Schoy behandelten Uhren dieser Art die konkave Seite des Kegelmantels als Auffangfläche; die Kegelachse ist der Erdachse parallel und enthält die Gnomonspitze. Der Erfinder dieser Uhr soll der vor Christus lebende Dionysodorus sein. Da die Tageskurven Kreise sind, war ihre Herstellung einfach. Sie war nach der Zahl der noch vorhandenen Exemplare zu schließen sehr stark verbreitet. Die Stundenlinien sind für den Bereich, der für die Sonnenuhr in Betracht kommt, annähernd gerade Linien, während sie bei Berücksichtigung von Deklinationen, die größer als die Ekliptikschiefe sind, Kurven höherer Ordnung (4.—24.) sind.

Die Kegeluhr geht in die Äquatorialsonnenuhr über, wenn der Öffnungswinkel 90° wird, der Kegelmantel also in eine Ebene ausartet. Die Tageskurven bleiben Kreise, die Stundenlinien werden in der allgemeinen Form Ährenkurven; die für die Sonnenuhr in Betracht kommenden Teile sind wieder einfacherer Natur.

Auch bei den senkrechten Zylinderuhren, von denen aus dem römischen Altertum uns drei Stücke mehr oder minder gut erhalten sind, ist die Innenfläche des Zylinders Zeichenebene; die Tageskurven und die Stundenlinien lassen sich zeichnerisch und rechnerisch in verhältnismäßig einfacher Weise darstellen.

Die analytische Betrachtung der Horizontaluhr ergibt für die Tageskurven Kegelschnittsgleichungen, für die Stundenlinien Kurven höherer Ordnung. Ihre für die Sonnenuhr in Betracht kommenden Teile unterscheiden sich wenig von geraden Linien. Horizontaluhren aus dem Altertum sind nur in wenigen Exemplaren erhalten.

Im 8. Kapitel behandelt der Verfasser analytisch die Linien auf der Vertikaluhr. Bei der nach Süden gekehrten Uhr ergeben sich für die Linien ganz ähnliche Gleichungen wie für die Horizontaluhr; für eine Vertikaluhr, deren Auffangfläche einen Winkel mit der Ost-Westrichtung bildet sind Koordinatentransformationen vorzunehmen. Für die Vieruhrlinie werden diese als Beispiel durchgeführt.

Im 9. Kapitel gibt der Verfasser eine Methode mit Hilfe von Polarkoordinaten an, durch die man auf vorhandenen Uhren durch Berechnung bestimmter Punkte der Stundenlinien und Tageskurven die Richtigkeit der Zeichnungen des Zifferblattes nachprüfen kann. Auf diese Weise prüft der Verfasser die acht nach verschiedenen Himmelsrichtungen orientierten Uhren des Andronikos am Turme der Winde in Athen nach und findet eine staunenswerte Genauigkeit, da sich maximal eine Abweichung von nicht ganz 3 Minuten ergibt.

Nach einer kurzen Besprechung besonderer Linien für verschiedene Zwecke auf den alten Sonnenuhren und der Kombination zweier und mehrerer Uhren wendet sich der Verfasser im 12. Kapitel den tragbaren antiken Sonnenuhren zu, von denen die eine und andere schon Vitruv bekannt war. Die älteste auf uns gekommene dieser Art ist die schinkenförmige Sonnenuhr aus Portici, die aus dem ersten Jahrhundert n. Chr. stammen dürfte. Sie ist ein Vorläufer der bei den Arabern unter dem Namen Heuschreckenbein bekannten Sonnenuhr. (Siehe Referat über die Lieferung F *in dieser Zeitschrift a. a. O.*) Sie geht nach Berechnungen des Verfassers für eine Breite von 41° annähernd richtig. Eine andere Form, die uns in mehreren Exemplaren aus dem zweiten nachchristlichen Jahrhundert überkommen ist, ist ein schachtelförmiges Gehäuse, auf dessen Boden

ähnlich wie bei der eben genannten Uhr die Linien für die einzelnen Monate und weitere diese querschneidende Linien für die Stunden gezeichnet sind. Ein Loch im Rande des Gehäuses ge-stattet dem Sonnenstrahl den Eintritt; dieser zeigt bei richtiger Orientierung der Uhr die Stunde an. Eine besondere Art ist die römische Taschensonnenuhr im Museum zu Mainz, die für die einzelnen Monate verschiedene Löcher zur Aufnahme des Gnomons zeigt. Über ihre Konstruktionen und ihren Gebrauch herrschen abweichende Meinungen, doch dürfte die des Verfassers die zutreffende sein. Von mehr allgemeinem Interesse dürfte eine in Österreich gefundene Sonnenuhr aus dem dritten Jahrhundert sein, weil es eine Reiseuhr, d. h. also an verschiedenen Orten verwendbar, war. Die Uhr besteht aus einer größeren und einer kleineren Scheibe, die sich gegeneinander um ihren gemeinsamen Mittelpunkt drehen lassen. Um diesen Punkt dreht sich auch eine Art Lineal von einem Durchmesser, der etwas kleiner als der der kleineren Scheibe ist. An dem einem Ende des Lineals steht ein Gnomon senkrecht zur Scheibenfläche. Von hier aus zieht sich zum anderen Ende des Lineals bogenförmig ansteigend die Auffangfläche für den Schatten des Gnomons. Bei der Benutzung wird ein auf der inneren Scheibe angebrachter Zeiger auf den der geographischen Breite entsprechenden Grad der Teilung, die auf der größeren Scheibe sich befindet, eingestellt und der die Sonnenuhr darstellende Teil auf der inneren Scheibe auf den Teilpunkt an einer Teilung dieser Scheibe eingestellt, der der augenblicklichen Sonnendeklination entspricht. Schließlich wird das vertikal aufgehängte Instrument so weit der Sonne zugekehrt, bis der Schatten des Gnomons gerade die gleich breite Auffangfläche bedeckt. Das Schattenende gibt an der Teilung der Auffangfläche die Stunde an. Eine Durchrechnung zeigt, daß die Angaben der örtlichen Stunden mit zunehmender Breite wachsende Fehler geben, doch für die Orte Italiens bleiben die Fehler innerhalb der Einstellungsfehler.

Nach einer kurzen Besprechung der Konstruktion der babylonischen bzw. italischen Stundenlinien — jede dieser Stunden umfaßt im Gegensatz zu den örtlichen 15 Äquatorgrade; sie werden vom Sonnenaufgang bzw. vom Sonnenuntergang gezählt — und nach Erörterung der Verwendung der Sonnenuhren in der Astrologie wendet sich der Verfasser den Sonnenuhren mit einem zur Erdachse parallelen Gnomon zu. Da die Sonne im Laufe eines Tages Kreise beschreibt, in gleichen Zeiten daher der Schatten eines solchen Zeigers gleiche Winkel durchstreicht, so können mit einer solchen Sonnenuhr nur gleiche Stunden, von denen jede 150 Grad umfaßt, angegeben werden. Hier wird also die Schattenrichtung nnd nicht wie bei den bisher besprochenen Uhren das Schattenende als Zeitmesser verwendet. Da die Sonnenuhrangaben von der Deklination der Sonne unabhängig sind, kann die Zählung der Stunden von Mitternacht bzw. vom Mittag aus erfolgen. Bei uns dürfte die Sonnenuhr in dieser Form um die Mitte des 15. Jahrh. bekannt geworden sein. Aus dieser Zeit sind uns auch einige solche Uhren für die Tasche erhalten. Der Verfasser berechnet für den allgemeinen Fall, daß die Zifferblattfläche mit dem Horizont und mit der Meridianebene einen beliebigen Winkel bildet, den Winkel, den eine Stundenlinie mit der Nord-Südrichtung bildet, und gibt daran anschließend einige ältere geometrische Konstruktionen wieder.

Im 16. Kapitel werden die tragbaren Sonnenuhren des Mittelalters besprochen, die man in neun verschiedene Gruppen einteilen kann. Die Zylinderuhr ist im Prinzip die gleiche, wie sie in der Lieferung F beschrieben ist. Ob Hermanus Contractus, der sicber arabische Schriften kannte, und der als erster diese Art erwähnt, sich nicht doch auf arabische Quellen stützt, dürfte wohl noch näher zu untersuchen sein. Als zweite Art wird der astronomische Quadrant genannt, der in sehr vielen Schriften des Mittelalters beschrieben wird. Ich weise nur auf G. Reisch, Margarita philosophica nova, Basel 1583, hin. Er ist in den astronomischen Werken des Königs Alfons X. von Kastilien beschrieben. Der Quadrant enthält sechs Kreisbögen, die von einem seiner Eckpunkte ausgehen und die die Linien für die örtlichen Stunden darstellen. Auf verschiedenen Astrolabien befindet sich ebenfalls ein Quadrant mit diesen Stundenlinien. In einer Vertiefung unseres Quadranten ist ein Ringstück verschiebbar, das Einteilungen für die Monate und für die zugehörigen Tierkreiszeichen trägt. Mißt man an irgend einem Tage die Stunde, so stellt man den Anfang des Widders auf die Äquatorhöhe des Beobachtungsortes ein und schiebt eine Perle an einem Faden, der einerseits durch den oben genannten Eckpunkt, andererseits durch den betreffenden Tag auf dem Ringstück geht, bis zum Schnittpunkt mit der Linie der Mittagsstunde. Dann

visiert man mit dem Quadranten die Sonne an, wobei die Perle an dem sich vertikal einstellenden Faden die Zeit an den Stundenlinien abzulesen gestattet. Die Angaben weichen zur Zeit der Sonnenwende am meisten (etwa um 13 Minuten) von den wahren Werten ab. Der Quadrant konnte für verschiedene Polhöhen verwendet werden. Der Sonnenring enthält in seiner Innenseite eine Einteilung für die Stundenlinien, als Zeiger diente der Sonnenstrahl, der durch ein auf der gegenüberliegenden Ringseite befindliches Loch einfiel. Die Uhr ist nur für einen Ort verwendbar und zeigte verschiedene Mängel. Für alle Orte verwendbar ist der Universalring, der im Prinzip eine vereinfachte Armillarsphäre ist. Auch die Benutzung ist die gleiche wie bei dem letztgenannten Instrument. Das weitverbreitete allgemeine Uhrtäfelchen stammt von Regiomontan und wurde in seinem Kalender zum Gebrauche abgedruckt. Es ist in zwei Räume geteilt. Im unteren sind die parallelen Stundenlinien gezeichnet; die Mittagslinie ist nach einem bestimmten System in die Teile des Tierkreises geteilt. Der obere Raum enthält ein konvergentes Liniensystem, von denen jede einem der Tierkreiszeichen zugeteilt ist. Diese Linien queren parallele Linien, deren Abstände nach einem gewissen System gewählt sind. Letztere sind verschiedenen Polhöhen zugewiesen, so daß das Instrument überall zu verwenden ist. Zur Messung legt man das eine Ende eines Lotes auf den Schnittpunkt der Gerade für die Polhöhe und der für den Ort der Sonne im Tierkreis; dann stellt man eine an dem Faden des Lotes bewegliche Perle auf den Ort der Sonne in dem Tierkreis, der sich im erstgenannten Raum befindet, ein und dreht nun das Täfelchen der Sonne so lange zu, bis der Schatten eines am linken Ende des Täfelchens angebrachten Körperchens mit seiner obersten Kante zusammenfällt. Durch Koinzidenz der Perle an dem sich vertikal einstellenden Faden mit einer der Stundenlinien wird die Zeit ermittelt. Die Konstruktion und die Theorie des Uhrtäfelchens ist auffallend einfach. Im Laufe der Zeit erfuhr das Täfelchen manche Änderungen. Die Sonnenuhr mit der Magnetnadel ist eine solche, deren Gnomon mit der Richtung der Erdachse zusammenfällt. Die Magnetnadel diente zur Ermittlung der notwendigen Nord-Südrichtung. Diese Uhr geht auf das 15. Jahrhundert zurück und wurde später so verbessert, daß sie auch an verschiedenen Orten zu gebrauchen war. Die Azimutal-Sonnenuhr, auch analem atische oder elliptische genannt, beruht auf dem Prinzip, daß man an einem bestimmten Ort aus Deklination und Azimut der Sonne den Stundenwinkel bestimmen kann. Die Sonne bewegt sich auf einem Parallelkreis zum Äquator, sein Gegenpunkt, den man als den Schatten des Mittelpunkts der Himmelssphäre auffassen kann, auf einem gleich großen, der sich in orthogonaler Projektion auf den Horizont als Ellipse abbildet. Der Schatten hat immer das gleiche Azimut wie die Sonne. Die Projektionen der Parallelkreise für verschiedene Deklinationen sind Ellipsen, die einander ähnlich sind und durch Verschiebung längs der Mittagslinie in ähnliche Lage gebracht werden können. Darum ist diese Sonnenuhr nur mit einer Ellipse ausgerüstet, die die Orthogonalprojektion der Schattenkurve für die Stellung der Sonne im Äquator ist und auf der die Stundenpunkte abgetragen sind. In ihrer Mitte in der Ausgangsstellung ist der Schattenspender errichtet. Durch Verschieben der Ellipse längs der Mittagslinie nach einem bestimmten Maßverhältnis kann man mit Hilfe des Schattens die Stunde ablesen. Durch Kombination dieser Uhr mit einer, deren Gnomon parallel zur Erdachse ist, konnte man die Uhr in die verlangte Nord-Südrichtung orientieren, indem man das ganze System so lange drehte, bis die beiden Uhren die gleiche Stunde zeigten. Man war bemüht, diese Uhr so zu bauen, daß sie für alle Orte zu gebrauchen war. In Frankreich wurden besonders schöne Exemplare solcher Uhren, kombiniert mit noch anderen Systemen, hergestellt und viel verwendet. Die Horizontal-Sonnenuhr mit homogenen Stundenlinien ist eine Uhr, bei der der Schatten eines Gnomons in jeder Stunde des Jahres einen Bogen von 15° auf einem horizontalen Kreis beschreibt. Sie wurde von S. Foster 1654 erdacht. Er konstruierte sie als eine Azimutaluhr für einen Horizont, der den Winkel zwischen Ortshorizont und Äquator halbiert. Der Schattenwerfer liegt in der Meridianebene und hat eine bestimmte Neigung gegen den Horizont, die von der geographischen Breite abhängig ist. Er muß aber je nach der Deklination der Sonne verschoben werden. Als letzte Abart wird die Bifilar-Sonnenuhr behandelt, die von H. Michnik in den letzten Jahren ersonnen wurde. Sie besteht aus einem in die Nord-Südrichtung und einem zweiten in die Ost-Westrichtung gespannten horizontalen Faden. Der Schatten des Kreuzungspunktes auf einer in bestimmter Entfernung befindlichen horizontalen Ebene gilt als Zeiger. Wir

haben also eine horizontale Uhr, deren Schattenwerfer in Richtung der Erdachse fällt. Durch geeignete Wahl der Abstände der Drähte von der Ebene kann man erreichen, daß der Schatten in gleich Zeiten gleiche Bögen beschreibt, sie also dasselbe liefern, wie die eben genannte Uhr. Dieser Abstand wird dann immer beibehalten.

In den beiden letzten Kapiteln befaßt sich der Autor noch mit der wahren und der mittleren Zeit und mit der atmosphärischen Refraktion.

Zurückblickend müssen wir feststellen, daß die Arbeit von Drecker unsere Kenntnisse über die Sonnenuhren wesentlich bereichert. Der Leser, der sich für die Konstruktion der Sonnenuhr interessiert, muß zum vollen Verständnis der Schrift ein gewisses Rüstzeug an mathematischen Kenntnissen besitzen. Ein Fortschritt dieser Lieferung gegenüber den früheren ist die Zusammenfassung der Figuren auf gesonderten Blättern am Ende des Heftes, die nach Bedarf aus dem Buche neben dem Text herausgeklappt werden können. Das Aufsuchen der einzelnen Figuren würde erleichtert, wenn auch die Rückseiten der Tafeln die Nummern der sie enthaltenden Figuren tragen würden.

J. Fr.

L. A. Ott, *Theorie und Konstantenbestimmung des hydrometrischen Flügels.* Gr. 8°. III, 49 S. mit 25 Abb. im Text. Berlin, Julius Springer. 4.50 Goldmark.

Der Verf., Mitinhaber des math.-mech. Instituts A. Ott in Kempten, das seit Jahren von allen in Betracht kommenden Werkstätten wohl die meisten Wassermessungsflügel geliefert hat, verfolgt in der vorliegenden Schrift (Dissert. Techn. Hochsch. München) das Ziel, der Theorie des gesetzmäßigen Zusammenhangs zwischen der Umdrehungsgeschwindigkeit des Flügel-Schaufelrades und der Geschwindigkeit des an dem Flügel vorbeiströmenden Wassers nachzugehen und diese Theorie so weit auszugestalten, daß die Ermittlung der „Konstanten“ der Flügelgleichung aus den Daten der „Schleppkurve“ (Versuchsmessungen, bei denen der Flügel auf gezwungen geradliniger Bahn mit genau bekannten Geschwindigkeiten durch stehendes Wasser geführt wird) möglichst einfach wird. Später soll ein weiterer Versuch folgen, das individuelle Verhalten der einzelnen Flügelwassermesser aus ihrem Bau, ihren geometrischen Formen und ihren physikalischen Eigenschaften zu erklären. Dabei wird diese künftige Arbeit wohl auch auf die meines Wissens bisher wenig erörterte Frage eingehen müssen, wieweit in der Tat identische Flügelumdrehungsbewegungen dadurch entstehen, oder aber dadurch, daß ein bestimmter Flügel mit bekannter Geschwindigkeit durch einen Wassertrog von bestimmtem Querschnitt und mit ruhendem Wasser gefüllt, gezogen wird, oder aber dadurch daß das Wasser mit derselben Geschwindigkeit gegen die Schaufeln des an einer Stange befestigten oder sonstwie im fließenden Wasser festgehaltenen Flügels strömt.

In der vorliegenden Abhandlung wird in II. die „allgemeine Flügelgleichung“ entwickelt und in III. geometrisch gedeutet. Der IV. Abschnitt gibt eine recht einfache graphische Bestimmung der Konstanten der Flügelgleichung aus der Eichkurve (den Daten der Schleppversuche), der V. ersetzt die allgemeine Flügelgleichung durch zwei einfachere Näherungsgleichungen, in VI. wird ein Zahlenbeispiel vollständig durchgeführt; in VII. werden besondere Fälle der allgemeinen Flügelgleichung behandelt; der VIII. endlich weist Beobachtungsmaterial für die Nachprüfung der Theorie nach, wie sie die Veröffentlichungen der zahlreichen amtlichen Flügelversuchsstationen bieten, von denen besonders Berlin (Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau), München (Prüfungsanstalt für hydrometrische Flügel, Techn. Hochschule) und Bern (Prüfungsanstalt) benutzt werden. Die Zahlentafel am Schluß stellt die Zahlenergebnisse für die Konstanten einer großen Zahl von Flügelgleichungen zusammen, mit Ausnahme von dreien alle aus der Ottschen Werkstatt stammend.

Die Schrift ist ein wichtiger Beitrag zur Theorie der Wassermessungsflügel und gibt auch Fingerzeige für Fortschritte im Bau dieser Instrumente.

Hammer †.

Nachdruck verboten.

Verantwortlich für die Redaktion: Oberregierungsrat Professor Dr. F. Göpel in Charlottenburg.
Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Kuratorium:

Prof. Dr. **R. Straubel,** Prof. Dr. **F. Weidert,** geschäftsführendes Mitglied.

Schriftleitung: Oberregierungsrat Prof. Dr. **F. Göpel** in Charlottenburg-Berlin.

XLV. Jahrgang. **November 1925.** Elftes Heft.

Professor Hammer †.

Die Trauerkunde vom Ableben des Professors Dr. phil. Dr.-Ing. ehr. Ernst von Hammer hat die ganze geodätische Welt tief bewegt; mitten aus vollem Schaffen ist uns dieser Forscher und Führer entrissen worden. Mit seinem Landsmann Jordan ist Hammer seit Jahrzehnten im Gebiete des praktischen Vermessungswesens wohl der meistgenannte, erfolgreichste Geodät gewesen. Ausgerüstet mit einer außergewöhnlichen Arbeitskraft und einem ausgezeichneten Gedächtnis, begabt mit einem auf die Erfordernisse der Praxis gerichteten Sinn und großen Feingefühl für Beobachtungen, gestützt auf eine gründliche mathematische Schulung hat der Verstorbene seit 40 Jahren eine vielseitige wissenschaftliche Tätigkeit von großer Fruchtbarkeit entwickelt. Als Lehrer war er nicht weniger hervorragend; sein klarer Vortrag hat seine Studierenden dauernd gefesselt und Hunderte von Ingenieuren denken noch nach vielen Jahren gerne an Hammers anregende Vorlesungen in ihrer Studienzeit zurück. Der praktische Sinn Hammers zeigte sich besonders bei den von ihm im Jahre 1890 begonnenen und lange Zeit geleiteten Höhenmessungen in Württemberg zur Herstellung einer topographischen Grundkarte des Landes im Maßstabe 1 : 2500, mit Benützung der vorhandenen Flurkarten; ein jetzt nahezu vollendetes Werk, das den wirtschaftlichen Bedürfnissen in weitestem Maße nützlich ist; zugleich ein Unternehmen, das mit seinen von Hammer angewendeten Methoden bis zum heutigen Tage für andere Staaten vorbildlich geworden ist. Auch für die magnetische Erschließung des Landes hat sich Hammer durch die Messung der Deklination im mittleren Württemberg hervorgetan. In der Instrumentenkunde verdanken wir ihm namhafte Fortschritte, teils durch seine unmittelbare Einwirkung auf die Werkstätten für Feinmechanik, teils mittelbar durch seine Besprechungen und Urteile über neue Instrumente und Meßmethoden, die sich fortlaufend in dieser Zeitschrift, fast in jedem ihrer Hefte finden. Das Hammer-Fennelsche selbstrechnende Tachymeter ist ein genial erdachtes und fein konstruiertes Meßinstrument von großer praktischer Bedeutung. Ein großes Verdienst hat sich Hammer auf dem Gebiete der mathematischen Geographie erworben. Seine Forschungsarbeiten über die geographisch wichtigsten Kartenprojektionen sind für die Netzentwürfe der Karten von Bedeutung gewesen und haben die Anerkennung und Anwendung bei den Geographen in vielen Ländern gefunden. Die Zahl

seiner durchweg gediegenen Veröffentlichungen ist erstaunlich, wir verdanken ihm etwa 20 selbständig erschienene Bücher und Schriften von zum Teil erheblichem Umfange, 250 Abhandlungen und Aufsätze in wissenschaftlichen Zeitschriften und Hunderte von Besprechungen. Ganz hervorragend ist sein schon in 5 Auflagen erschienenes Lehrbuch der Trigonometrie mit seinem reichen Inhalt auch in bezug auf Anwendungen in der Vermessungskunde und der praktischen Astronomie; für den Forscher sind die von Hammers großer Belesenheit zeugenden geschichtlichen Angaben in diesem Buche von hohem Werte.

Hammer hat sich ganz seinem Lehramt und der Wissenschaft gewidmet, stets aber mit Beachtung der praktischen Anwendung. Als württembergischer Kommissar der internationalen Erdmessung hat er große Aufgaben bearbeitet; als Mitglied und später als Vorstand der Prüfungskommission für Landmesser in Württemberg hat er 20 Jahre lang gewirkt. Die wissenschaftliche Bedeutung und Wertschätzung Hammers ging aber weit über die Grenzen seines Heimatlandes hinaus, sie erstreckte sich über Länder und Meere. Am deutlichsten zeigte sich dies nach dem Kriege, wo wie früher Bitten und Anfragen um Rat und Hilfe in geodätischen Fragen, und die Versuche zur Anbahnung der einstigen Beziehungen an ihn herantraten, sowohl persönlich als teilweise amtlich, aus Amerika, England, Frankreich, Italien und Japan. Seine amerikanischen Freunde gaben ihm reichliche Mittel zur Erhaltung und Ausstattung seines Instituts, an Stelle des hierzu nicht mehr fähigen verarmten Staates. Hammer durfte sich im Laufe der Zeit der Anerkennung seiner großen Leistungen auch von hohen Stellen erfreuen. Zahlreiche in- und ausländische Orden und Ehrenzeichen wurden ihm zuteil. Das Ehrenkreuz des Ordens der württemberger Krone brachten ihm den Personaladel ein. Aus Anlaß seines 40 jährigen Dozenten-Jubiläums an der Technischen Hochschule in Stuttgart wurde er auf Antrag aller Abteilungen zum Dr.-Ing. ehr. ernannt.

Ernst Hammer war am 20. April 1858 in Ludwigsburg als Sohn des dortigen Kriegsschulinspektors geboren. Nach dem Schulbesuch in seiner Vaterstadt und in Stuttgart trat er in die polytechnische Schule dieser Stadt ein und schloß sein Studium mit der sehr gut bestandenen ersten Staatsprüfung für Bauingenieure ab. Von Frühjahr 1878 bis Herbst 1882, unterbrochen durch ein Militärjahr, war er bei der württembergischen Forstdirektion mit Höhenaufnahmen beschäftigt, eine Tätigkeit, die für seine ganze spätere Laufbahn bestimmend war. Von 1882 an war er Assistent an der Technischen Hochschule in Stuttgart. Im Juli 1884, nach dem Tode seines Professors Schoder, wurde der erst 26 jährige, dessen Lehrbefähigung und Begabung vom Professorenkollegium schon richtig erkannt war, zum ordentlichen Professor der Geodäsie in Stuttgart berufen; sein Lehrstuhl wurde später auf praktische Astronomie erweitert. Professor Hammer hat das in ihn gesetzte Vertrauen glänzend gerechtfertigt, er ist nicht nur seinem engeren Heimatland, er ist der ganzen Welt ein Förderer auf geodätischem Gebiete geworden. Seine ungeheure Lebensarbeit wäre ihm aber, trotz hoher Begabung und eiserner Tatkraft, doch nicht möglich gewesen, wenn er nicht eine Lebens-

gefährtin gehabt hätte, die ihr Dasein ganz auf ihn eingestellt, die selbstlos für ihn gelebt hätte. Denn auch für die scheinbar unverwüstliche Arbeitskraft Hammers gab es schwere Hemmungen. Anfangs der 90er Jahre war seine Gesundheit so erschüttert, daß er sich längere Zeit von seinem Lehramt zurückziehen mußte und es fraglich erschien, ob er es überhaupt wieder aufnehmen könne. Schwarzwaldluft und Frauenhand haben ihm Gesundheit und Arbeitskraft gerettet. In den letzten 15 Jahren, als seine Frau selbst leidend wurde, ist mehr und mehr die Tochter in die Aufgabe der Mutter hineingewachsen, und als Frau Hammer vor wenig Wochen vom Leben abgerufen wurde, da setzte sich die Tochter in verständnisvoller Hingabe für den Vater ein, eine für sie um so schwerere Aufgabe, als ihr Vater dem Verluste der treuen langjährigen Gefährtin nicht gewachsen war. Das Heimweh nach der Verstorbenen in Verbindung mit den Auswirkungen jahrzehntelangen unermüdlichen Schaffens zermürbten schnell den starken Körper. Noch mitten in voller Arbeit stehend, erfüllt von wissenschaftlichen Gedanken und Plänen, fühlte sich Hammer nach einem unbedeutenden Fall bei Meßübungen mit Studierenden im Felde nicht ganz wohl, Schwächezustände wiederholten sich trotz der aufopfernden Pflege, eine Lungenentzündung trat hinzu, und am 11. September 1925 schloß dieser große Gelehrte und Praktiker seine Augen für immer. Seine Werke halten ihn für uns lebendig.

Haußmann.

Ein einfaches Verfahren zur Eichung von Mikromanometern.

Von

Diplom-Ingenieur **Franz Levy** in München.

(Mitteilung aus dem Laboratorium für technische Physik der Technischen Hochschule München.)

I. Einleitung.

Das in der Praxis am häufigsten gebrauchte Gerät zur Messung sehr kleiner Drücke ist das Mikromanometer. Es werden diese Instrumente von verschiedenen Firmen in zwei Arten in den Handel gebracht, nämlich solche mit unveränderlicher und solche mit verstellbarer Neigung. Wenn auch den meisten Instrumenten Eichkurven mitgegeben werden oder die Skalen selbst schon nach „Millimeter Wassersäule" geeicht sind, so bedürfen sie doch bei längerem Gebrauche einer Nacheichung, namentlich nach einer allenfalsigen Auswechslung des Glasschenkels oder Veränderung der manometrischen Sperrflüssigkeit. Namentlich der letztere Umstand verlangt eine Kontrolle des Instrumentes; denn nicht allein das spezifische Gewicht der Sperrflüssigkeit muß berücksichtigt werden — eine Korrektur, die ohne weiteres durch Wägung gefunden werden kann, — sondern auch ihre Kapillaritätskonstante, die den Stand der Flüssigkeitskuppe im Glasrohr beeinflußt.

A. Das bisher übliche Eichverfahren.

Von den meisten Firmen wird die Eichung ihrer Instrumente durch schrittweises Nachfüllen von Sperrflüssigkeit nach vorausgegangener Kalibrierung des Glasschenkels vorgenommen. Nähere Angaben hierüber findet man in der ein-

schlägigen Literatur[1]). Das genannte Verfahren hat jedoch den Nachteil, daß es recht zeitraubend ist. Weiter verlangt es eine sehr genaue Bestimmung des Durchmessers des Flüssigkeitsbehälters für jede Höhe des Flüssigkeitsspiegels in ihm, da aus dieser Größe und dem nachgefüllten Flüssigkeitsvolumen die sehr kleinen Druckhöhenunterschiede zu bestimmen sind. Um nun von der jeweiligen Höhe des Flüssigkeitsspiegels unabhängig zu sein, erfordert die Herstellung der inneren Wandung des Behälters ein peinlich genaues zylindrisches Ausschleifen, das die Herstellung solcher Instrumente sehr verteuert. Überdies läßt es sich bei längerem Gebrauch eines Meßgerätes nicht vermeiden, daß der Sperrflüssigkeit etwa zugesetzte Farbbestandteile (z. B. Eosin zu Alkohol) sich an der Wand des Behälters ablagern. Sie verringern seinen wirksamen Durchmesser, sodaß nunmehr die abgelesenen Angaben fehlerhaft werden, ohne daß man in der Lage wäre, den Fehler sofort zu berücksichtigen. Diese Erwägungen führten zur Durchbildung eines neuen Eichverfahrens.

B. Vereinfachtes Verfahren zur gleichzeitigen Eichung mehrerer Mikromanometer.

Das Verfahren beruht auf der genau meßbaren Herstellung kleiner Drücke durch Auflegen von Gewichten auf eine in einen Wasserbehälter eingetauchte kleine Gasglocke und Einleitung dieser Drücke in die zu prüfenden Instrumente.

II. Theorie der Erzeugung kleiner Drücke in einer Gasglocke.

A. Allgemeiner Fall.

Fig. 1 stelle einen bis zur Höhe C mit Wasser gefüllten Behälter dar mit der Wasseroberfläche Φ, in den eine oben luftdicht verschlossene, unten offene Glocke eintaucht von der Innenfläche F, der Wandungsfläche f und der Höhe $(A-B)$. Durch ein unter die Glocke geführtes U-Rohr mit Hahn kann der innere Glockenraum nach Bedarf mit der Außenluft in Verbindung gesetzt werden.

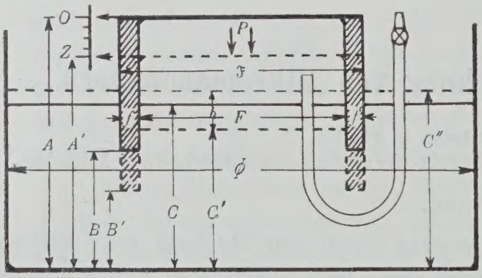


Fig. 1.

Nach Ausgleich des Druckes innerhalb der Glocke mit dem äußeren Luftdruck steht das Wasser innen und außen gleich hoch bei C, und der obere Rand der Glocke taucht bis zur Marke 0 einer daneben angebrachten Skala ein.

Denkt man sich die Glocke am einen Balken einer Wage aufgehängt, so müßte die Wagschale am anderen Balken für diese Gleichgewichtslage mit einem Gewicht G belastet werden, das folgt aus dem Wandgewicht der Glocke (das Gewicht des Deckels sei gleich Null) abzüglich dem von ihr verdrängten Wassergewicht.

$$G = \varepsilon \cdot f(A-B) - \gamma \cdot f(C-B), \qquad 1)$$

wo ε = spez. Gewicht des Baustoffes der Glocke,

γ = spez. Gewicht des Wassers in kg/m³.

Die Längen sind in m, die Flächen in m² einzuführen; alsdann folgt G in kg.

Nun werde der Druckausgleichhahn geschlossen und die Glocke mit P kg belastet. Als dann sinkt die Glocke in eine neue Gleichgewichtslage bis zur Marke Z

[1]) Vgl. Anton Gramberg, Technische Messungen. Julius Springer, Berlin. 5. Auflage 1923, S. 67 ff.

Die Entfernung $\overline{OZ}$ ist dabei gleich $(B-B')$. Zugleich sinkt der Wasserspiegel innen bis C', während er außen auf C'' ansteigt.

Für diese neue Gleichgewichtslage ergibt sich die maßgebende Beziehung zwischen der Belastung der Wage und den Auftriebskräften aus der Überlegung, daß erstens die Belastung P dem Gewichte G entgegenwirkt, und daß zweitens nicht nur der Teil $f(C''-B')$ der festen Glocke, sondern auch das Luftvolumen $F(C''-C')$ unterhalb des äußeren Wasserspiegels C'' liegt, also einen Auftrieb erfährt.

Die neue Gleichgewichtsgleichung lautet daher:

$$G-P=\varepsilon\cdot f(A-B)-[\gamma\cdot f(C''-B')+\gamma\cdot F(C''-C')]. \qquad 2)$$

Der Vergleich der Gleichungen (1) und (2) führt auf

$$P=\gamma\cdot[f\ (C''-B')+F\ (C''-C')-f\ (C-B)]. \qquad 3)$$

Eine neue Beziehung folgt aus der Erhaltung der Wasserfüllung des Behälters.

$$\gamma\cdot\Phi'\ (C''-C)=\gamma\ [F\ (C-C')+F\ (B-B')], \qquad 4)$$

wo $\Phi'=\Phi-(F+f)=\Phi-\mathfrak{F}$.

Die Erhaltung der Luftfüllung der Glocke bedingt anderseits

$$\beta\cdot F\,(A-C)=\beta'\cdot F\,(A'-C'). \qquad 5)$$

β und β' sind die spezifischen Gewichte der Luft vor bezw. nach der Belastung der Glocke unter Berücksichtigung der dadurch entstandenen Kompression der Luft.

Da aber die Veränderung des spezifischen Gewichtes der Luft bei den geringen Druckänderungen, die in der Glocke erzeugt werden sollen, vernachlässigbar klein ist (nur etwa 7 v. T. für Unterschiede von 100 mm WS.!), können β und β' einander gleichgesetzt werden, sodaß

$$A-C=A'-C'$$

oder mit

$$A-A'=\overline{OZ}=B-B',$$

$$B-B'=C-C'. \qquad 5')$$

Aus der Einsetzung der Glg. (5') in Glg. (4) folgt

$$\Phi'\,(C''-C)=(F+f)\ (C-C'), \qquad 6)$$

desgleichen in Glg. 3)

$$\frac{1}{\gamma}\cdot P=F(C''-C')+f(C''-C)+f(C-C')=(F+f)\ (C''-C'). \qquad 7)$$

Die Division der Glg. 7) durch Glg. 6) führt auf

$$\frac{P}{\gamma\cdot\Phi'(C''-C)}=\frac{(C''-C')}{(C-C')},$$

oder mit der rechten Seite von Glg. 6) zu

$$\frac{P}{\gamma\,(F+f)}=C''-C'. \qquad 8)$$

Nun ist aber die Niveaudifferenz $(C''-C')$ gleich der durch Auflegen des Gewichtes P hergestellten Druckhöhe h in mm Flüssigkeitssäule vom spezifischen Gewicht γ. Bei Eintauchen der Glocke in Wasser von $\gamma=1000$ kg/m³ ist also unmittelbar

$$h=\frac{P}{\mathfrak{F}}\ \left[\text{mm WS.}=\frac{\text{kg}}{\text{m}^2}\right], \qquad 8')$$

wobei $\mathfrak{F}=(F+f)$, gleich der gesamten Glockenfläche.

Aus der Gleichung 8′) folgt also, daß eine Vorrichtung, die auf die soeben definierte Weise einen Druck herstellt, unabhängig ist von dem Fassungsvermögen des Wasserbehälters, da die Größe Φ nicht mehr vorkommt.

Dafür aber tritt bei der praktischen Ausführung eine andere Schwierigkeit auf, von der noch später die Rede sein wird, sodaß folgender Sonderfall behandelt werden soll.

B. Sonderfall (Nullmethode).

(Hierzu Fig. 2.)

Die Anfangsbedingungen seien die gleichen wie im Falle A, sodaß die erste Gleichgewichtsgleichung wieder lautet

$$G = \varepsilon \cdot f\,(A - B) - \gamma \cdot f\,(C - B). \tag{1}$$

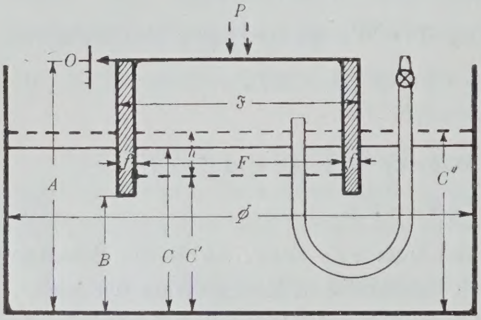


Fig. 2.

Nun werde die Glocke wieder mit P kg belastet, zugleich aber an einem weiteren Eintauchen verhindert durch Einblasen von Luft durch das U-Rohr, sodaß auch nach Belastung die Glocke auf ihrer Anfangsmarke *0* steht. Ist dieser Zustand erreicht, so wird die Außenluft durch Umlegen des Hahns abgesperrt. Jetzt bewirkt der innere Überdruck allein eine neuerliche Wasserverdrängung, sodaß die neue Gleichgewichtsgleichung lautet

$$G - P = \varepsilon \cdot f\,(A - B) - [\gamma \cdot f\,(C'' - B) + \gamma \cdot F\,(C'' - C')]. \tag{2}$$

Der Vergleich von 1) und 2) führt auf

$$P = \gamma\,[f\,(C'' - B) + F\,(C'' - C') - f\,(C - B)]. \tag{3}$$

Die Erhaltung der Wasserfüllung bedingt

$$\gamma \cdot \Phi'\,(C'' - C) = \gamma \cdot F\,(C - C'). \tag{4}$$

Die Addition der Gleichungen 3) und 4) ergibt

$$\frac{P}{\gamma} + F\,C - F\,C' = F\,C'' - F\,C' + f\,C - f\,C + \Phi'\,C'' - \Phi'\,C$$

und

$$\frac{P}{\gamma} = (\Phi' + F + f)\,(C'' - C)$$

oder

$$C'' - C = \frac{P}{\gamma \cdot \Phi} \tag{5}$$

mit

$$\Phi = \Phi' + F + f.$$

Die Einsetzung von 5) in 4) liefert

$$C - C' = \frac{P}{\gamma \cdot \Phi} \cdot \frac{\Phi'}{F} \tag{6}$$

und nach Addition von 5) und 6)

$$C'' - C' = \frac{P}{\gamma \cdot \Phi}\left(1 + \frac{\Phi'}{F}\right). \tag{7}$$

$(C'' - C)$ ist wieder gleich der entstandenen Druckhöhe h in mm Flüssigkeitssäule vom spez. Gewicht γ.

Mit Wasser von $\gamma = 1000$ kg/m³ folgt

$$h = \frac{P}{\Phi}\left(1 + \frac{\Phi'}{F}\right) = \frac{P}{\Phi}\left(\frac{F + \Phi'}{F}\right) = \frac{P}{\Phi}\left(\frac{\Phi - f}{F}\right)$$

und endlich

$$h = \frac{P}{F}\left(1 - \frac{f}{\Phi}\right) \quad \left[\text{mm WS.} = \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}\right]. \qquad 8)$$

Aus vorstehender Rechnung folgt, daß man bei dieser Art der Druckherstellung in einer Glocke, also bei Erhaltung ihrer Anfangslage, sich von der Größe des verwendeten Wasserbehälters praktisch unabhängig machen kann, wenn man Φ hinreichend groß wählt und f entsprechend klein hält. Anderseits mache man F, also den Glockenquerschnitt reichlich groß, damit durch Auflegen großer Gewichte P kleine Drücke erzeugt werden können.

Der Vorteil dieser sogenannten Nullmethode liegt in der auch theoretisch einwandfreien Unabhängigkeit von der Gasdichte β, also auch von Temperatureinflüssen, da β nicht in die Rechnung eingeführt werden muß, sobald es gelingt, die Glocke immer in die gleiche Lage wie zu Beginn des Versuches zu bringen.

Die weiteren Vorteile erhellen aus der praktischen Ausführung des Eichgerätes nach dieser Methode.

III. Praktische Ausführung des Eichgerätes nach der Nullmethode.

A. Anordnung der Eichvorrichtung.

Die Glocke (Fig. 3) besteht aus einem 0,8 mm Messingblechstreifen, der zu einem Kreiszylinder stumpf zusammengelötet ist. Bei einem lichten Durchmesser von 357 mm schließt er eine Fläche von 0,1 m² ein. Die Höhe des Zylinders ist 100 mm. Der stumpf aufgelötete Deckel besteht aus 1 mm Messingblech, um Deformationen durch das Auflegen der Gewichte standzuhalten. Die Glocke ist mit 3 Seidenfäden an der einen Wagschale einer Wage frei beweglich aufgehängt.

Die Wage ist eine gebräuchliche Laboratoriumswage von 10 kg Tragkraft und ergibt bei einer Belastung von 5 kg einen Ausschlag von 2 Skalenteilen für 1 g Mehrbelastung.

Sie ist über einem Wasserkasten so aufgestellt, daß die angehängte Glocke in der Gleichgewichtslage nahezu zur Hälfte in das Wasser eintaucht. Bei einer Abmessung von 0,53 auf 1,01 m hält das Bassin eine Wasserfläche von 0,5349 m². In den Kasten tauchen unter die Glocke zwei U-förmig gebogene Glasrohre von 12 mm lichter Weite, die beide durch Hähne verschließbar sind. Das eine Rohr kann mit der Außenluft verbunden werden und dient zugleich zum Nachfüllen oder Auslassen von Luft aus der Glocke. Das andere Rohr führt zu den zu eichenden Mikromanometern.

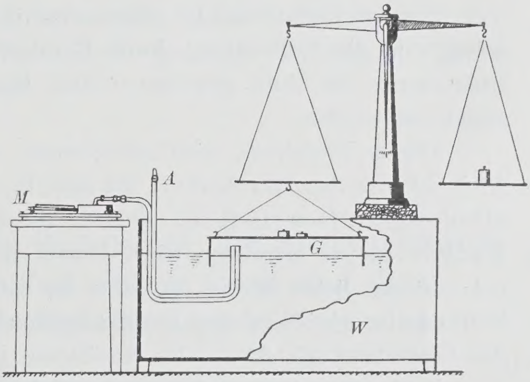


Fig. 3.
A = Druckausgleichhahn. G = Glocke.
M = Mikromanometer. W = Wasserkasten.

B. Durchführung einer Eichung nach der Nullmethode.

Zunächst ist darauf zu achten, daß die Glocke überall am Umfang gleichmäßig benetzt wird, da sich sonst das Wasser ungleich hochzieht und so zu Ver-

änderungen des Glockengewichtes Anlaß geben kann, die zu ungenauen Messungsergebnissen führen. Zur Vermeidung dieser Veränderung der Kapillaritätserscheinung bestreicht man zweckmäßig die Glocke außen und innen vom unteren Rande an bis zu einer Höhe von etwa 2 cm über dem Wasserspiegel mit wasserverrührtem Wiener Kalk. Man läßt die dünne Schicht trocknen und spült dann mit Wasser nach unter Vermeidung eines hart auftreffenden Strahles. Die Schicht, welche dann noch sitzen bleibt, hält den Anforderungen, die an sie gestellt werden, sehr gut stand, indem sie stets mit Wasser gesättigt bleibt und so für eine gleichmäßige Benetzung des Umfangs der Glocke sorgt.

Eine weitere Sicherung gegen unkontrollierbare Kapillareinflüsse liegt in der Nullmethode selbst, da mit ihr immer an derselben Eintauchstelle gearbeitet wird.

Ein anderer Vorteil dieser Methode ist die sofortige Sichtbarmachung von Druckänderungen infolge von Temperaturschwankungen. Die sich hebende oder senkende Glocke bringt den Zeiger der Wage aus der Null-Lage; die alte Stellung kann jederzeit durch Einblasen oder Absaugen von Luft aus der Glocke wieder eingestellt werden.

Der Hauptvorzug der Nullmethode liegt in der Unabhängigkeit von der Schwerpunktsverlagerung der Wage. Da einem bestimmten Ausschlag des Wagebalkens eine Mehrbelastung entspricht, müßte dieses Mehrgewicht für jeden neuen Ausschlag der Wage berücksichtigt werden, wenn man der Glocke eine Veränderung der Eintauchtiefe gestattete. Die Erhaltung der Null-Lage erübrigt diese umständliche Korrektur.

Die Wage ist also nach Anhängen der Glocke und vorsichtigem Eintauchen derselben in das Wasser auszutarieren bei geöffnetem Lufthahn. Ein aufgestelltes Fernrohr mit Fadenkreuz erleichtert diese Arbeit. Nach Schließen des Lufthahnes überzeugt man sich davon, daß die Null-Lage unverändert geblieben ist.

Nun wird ein Gewicht (chemischer Gewichtssatz) auf den Deckel der Glocke gelegt und die Nullstellung durch Einblasen von Luft wieder hergestellt. Sobald die Instrumente zur Ruhe gekommen sind, können die angeschlossenen Mikromanometer abgelesen werden.

Dieses Verfahren wird schrittweise wiederholt und führt zu einer schnellen Aufstellung der Eichkurve. Zu ihrer Kontrolle kann ein gleichfalls angeschlossenes alkoholgefülltes U-Rohr dienen, dessen Flüssigkeitskuppendifferenz mit einem Kathetometer abgelesen wird. Durch die Wahl von genügend weiten Glasrohren (14—16 mm lichte Weite) ist dafür zu sorgen, daß die Menisken sich in beiden Schenkeln gleichmäßig ausbilden können. Eine Lampe vor und ein Spiegel hinter den Glasrohren erleichtern das Anvisieren der Kuppen.

Nach beendigtem Versuch erfolgt die Bestimmung der inneren Fläche der Glocke (F). Man merke sich deshalb die Stelle, die während der Eichung gerade den Wasserabschluß gegen die Glocke bildete. In ihrem Bereich nehme man auch die Ausmessung vor. Sie geschieht durch Einfüllen einer vorher gewogenen Wassermenge in die umgedrehte Glocke und Ermittlung des Spiegelanstiegs. Ein Schwimmkörper mit senkrechter Nadel, deren Spitze jeweils mit dem Kathetometer anvisiert wird, leistet hierbei gute Dienste.

Die Mantelfläche (f) wird hinreichend genau bestimmt durch Blechstärke mal Abwicklungslänge desjenigen Kreisumfanges, welcher die soeben gefundene Innenfläche der Glocke einschließt.

Somit sind die sämtlichen Rechnungsgrößen bestimmt, aus welchen die jeweils erzeugte Druckhöhe folgt.

C. Ausführungsbeispiel mit Zahlenwerten.

Rechnungsgrundlage: $h = \frac{P}{F}\left(1 - \frac{f}{\Phi}\right)$ $\left[\text{mm WS.} = \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}\right]$

$F = 0{,}1000\ \text{m}^2$ (Genauigkeit: $\pm$ 7 v. T.)

$f = 0{,}000875\ \text{m}^2$

$\Phi = 0{,}5349\ \text{m}^2$

$$h = \frac{P}{F}\left(1 - \frac{0{,}000875}{0{,}5349}\right) = \frac{P}{F}\left(1 - 0{,}00163575\right)$$

$$h = \frac{P}{F} \cdot 0{,}99834 = P \cdot 9{,}9834$$

Das Korrektionsglied $\left(1 - \frac{f}{\Phi}\right)$ ist also schon nahezu vernachlässigbar.

Mit der Anordnung von beschriebener Größenordnung wurden Mikromanometer der Neigungen 1:400, 1:100 und 1:50 geeicht. Dabei wurden maximal mit $P = 4$ kg $h \simeq 4$ mm WS. erzeugt.

Eine Kontrolle durch U-Rohr 1:1 mit Kathetometerablesung führte zu einer sehr befriedigenden unter 45⁰ geneigten Geraden als Eichkurve.

Einer weiteren Anwendbarkeit des Verfahrens auch für größere Drücke sind keine Grenzen gesetzt, sofern die Dimensionen der Apparatur entsprechend geändert werden.

IV. Zusammenfassung.

Es wird ein neues vereinfachtes Verfahren beschrieben zur gleichzeitigen Eichung mehrerer Meßgeräte für kleine Drücke (Mikromanometer). In einer kleinen an eine Wage angehängten Glocke mit Wasserabschluß werden genau bestimmbare kleine Drücke erzeugt und in die zu eichenden Instrumente geleitet. Es folgen Theorie und praktische Durchführung des Verfahrens.

München, August 1925.

Über einen Zusatzapparat zum Stufen-Photometer, der zur bequemeren Ermittelung des Farbtones einer Farbvorlage dient, und daran anschließend Forderung eines gleichabständigen Farbenkreises.

Von

Prof. Dr. Dr.-Ing. h. c. **Carl Pulfrich** in Jena.

In meinem Aufsatz über das Stufen-Photometer[1]) hatte ich gezeigt, wie das Instrument zur Bestimmung des Farbtones einer Farbvorlage und zur Messung ihres Gehaltes an Weiß und Schwarz benutzt werden kann. Der vorliegende Zusatzapparat bezieht sich fast ausschließlich auf die Ermittlung des Farbtones. Hierfür hatte ich zwei verschiedene Methoden angegeben, eine indirekte und eine direkte. Die indirekte gründet sich auf das von Wilhelm Ostwald empfohlene und bisher allgemein angewandte Verfahren, welches den Umweg über die Gegenfarbe im Ost-

---

[1]) *Diese Zeitschr.* **45.** *S. 35, 61 u. 109. 1925.*

waldschen Farbenkreis macht, die in geeigneter Weise mit der Farbvorlage gemischt ein neutrales Grau erzeugt. Die andere, direkte Methode *(l. c. S. 117)* vermeidet diesen Umweg. Sie vergleicht die Farbvorlage mit der tunlichst farbtongleichen Farbe des Farbenkreises und sucht hierbei die noch restierenden Unterschiede im Aussehen durch einen entsprechenden Zusatz von Weiß und Schwarz zu der einen oder der anderen Farbe auszugleichen. Die Praxis sollte darüber entscheiden, welcher Weg der beste und einfachste ist.

Die Entscheidung ist inzwischen erfolgt und, wie wohl zu erwarten war, zugunsten der direkten Methode. Herr Prof. A. O. Krüger, Leiter der Deutschen Werkstelle für Farbkunde in Dresden hat auf Grund seiner Arbeiten mit einem von ihm erworbenen Stufen-Photometer die Anregung zu der nachstehend beschriebenen Anordnung gegeben. Sie beruht im wesentlichen auf dem Ersatz der von mir benutzten losen Farbtäfelchen durch einen auf der Bodenplatte des Stufen-Photometers anzubringenden und auswechselbaren Farbstreifen, auf dem eine größere Anzahl von Farbtäfelchen hintereinander aufgeklebt sind, und der in seiner Längsrichtung und senkrecht dazu zum Verschieben eingerichtet ist.

Die Gründe, die Herrn Prof. Krüger hierzu veranlaßt haben, sind folgende: für die Verwendung der beiden vorgenannten Methoden der Farbtonbestimmung der Wunsch, schneller und bequemer von einer Farbe des Farbenkreises zur benachbarten übergehen zu können und für die direkte Methode außerdem noch die Erfahrung, daß der durch Kippung der Farbplättchen bewirkte Weißzusatz *(l. c. S. 117)* sich in vielen Fällen nicht als ausreichend erwiesen hat. Hier hat ein Verfahren Anwendung gefunden, welches im wesentlichen als eine Wiederholung des zur Grauerzeugung dienenden Verfahrens (siehe Fig. 24, *l. c. S. 116*) anzusehen ist, bei dem aber das eine der beiden Farbtäfelchen durch eine Barytweißplatte ersetzt wird, die unmittelbar an die Farbe anstößt, der der Weißzusatz hinzugefügt werden soll. Für den Schwarzzusatz dient wie bisher die Meßschraube auf der rechten Seite des Photometers, doch kann hierfür unter Umständen nach dem gleichen Prinzip wie bei dem Weißzusatz auch ein Grauplättchen der *W-S*-Reihe nebenher benutzt werden[1]).

Von der Neueinrichtung des Stufen-Photometers wird nur dessen Bodenplatte betroffen. Zum Zwecke der nachträglichen Anbringung des Zusatzapparates ist die Einsendung der Bodenplatte mit Säule und Objekttisch an die Firma Carl Zeiss erwünscht, aber nicht unbedingt erforderlich, da die erforderlichen Einbohrungen in die Bodenplatte (*BP* in Fig. 1), auf die der mit Stellstiften versehene Zusatzapparat einfach aufgesetzt wird, von einem Mechaniker leicht ausgeführt werden können. Die beiden Lager für den Spiegel werden entfernt. Dem Zusatzapparat werden zwei neue Lager beigegeben, die durch eine Brücke miteinander verbunden und mit zwei Stellstiften versehen sind, so daß man die beiden Lager leicht als Ganzes abheben und bei Bedarf wieder einsetzen kann.

Der Zusatzapparat ist in Fig. 1 in seiner Ansicht von oben wiedergegeben. Auf der mit den Stellstiften *a*, *b* und *c* versehenen Grundplatte (*GP* in Fig. 1) liegt der Teller (*T*) für den darin einzulegenden Farbstreifen (*F*) und für die unmittelbar daran anstoßenden Präparate: z. B. den Prüfling *P*, die Barytmeßplatte *W* oder das oben erwähnte Grauplättchen. Der Teller ist mit Hilfe der Feinbewegungsschraube *K* in der Richtung senkrecht zum Farbstreifen zum Verschieben eingerichtet. Die Verschiebung des Farbstreifens in seiner Längsrichtung geschieht aus freier Hand.

[2]) In der gleichen Weise können natürlich auch Farbmischungen vorgenommen werden.

In der Figur ist die rechte Seite des Tellers von einer feststehenden Brücke (*Br*) überbrückt, die durch 3 Stellstifte *a'*, *b'* und *c'* auf der Grundplatte *GP* festgehalten wird. Die Brücke ist mit Führungsleisten versehen, zwischen denen sich ein Schiebebrettchen (*SB*) aus freier Hand ebenfalls senkrecht zum Farbstreifen verschieben läßt. Auf das Schiebebrett kommen nach Bedarf (siehe weiter unten) die Barzytmeßplatte *W* in Fig. 1 oder zwei unmittelbar aneinander stoßende Farbplättchen zu liegen. Eine zweite, ebensolche Brücke ist für die linke Seite des Tellers vorgesehen. Bei größeren Präparaten, die miteinander verglichen werden sollen, werden beide Brücken aufgesetzt, oder man hebt den Zusatzapparat von der Bodenplatte des Photometers ab und legt die Präparate einfach nebeneinander auf die Bodenplatte.

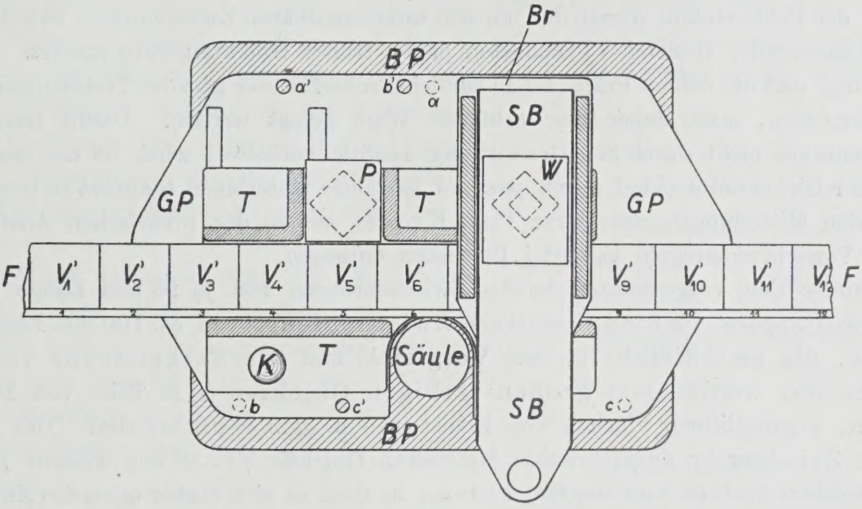


Fig. 1 (4/10 natürlicher Größe). Der Krügersche Zusatzapparat zum Stufen-Photometer. Die Figur gibt die unter I weiter unten beschriebene Anordnung für die Ermittlung des Farbtones nach der Gegenfarben-Methode wieder.

P = Prüfling, V_5' = Gegenfarbe, W = Barytweiß.
Einstellung auf $P + V_5' = W + S$ = Neutralgrau.

Bei den von mir *(l. c. S. 116)* angegebenen Verfahren, durch Aufsuchen der Gegenfarbe den Farbton zu bestimmen, kam rechts auf die Bodenplatte des Photometers die Barytweißplatte zu liegen. Auf der linken Seite war ein Schiebebrettchen angebracht, auf das der Prüfling *P* und die daran anstoßende Gegenfarbe des Farbkreises gelegt wurden. An das Photometer wurde links und rechts je ein Mikroskop-Objektiv $f = 30$ mm angesetzt, welches die auf der Bodenplatte liegenden Präparate in der quadratischen Blende des Photometers abbildet, und zwar so abbildet, daß das die ganze Fläche des Quadrates ausfüllende Feld, am Objekt und in der Diagonale gemessen, 34 mm betrug.

Mit Rücksicht auf die gegebenen Dimensionen des Stufen-Photometers: Abstand der beiden Rohrachsen voneinander = 60 mm und von dem Säulenrand = 38 mm (vgl. die linke Hälfte der Fig. 2) mußte, damit die Verwirklichung eines verschiebbaren Farbstreifens überhaupt erst möglich gemacht werden konnte, das wirksame Feld der Präparate etwas eingeengt werden. Es geschieht das in einfachster Weise durch Vergrößerung des Abstandes des Mikroskop-Objektives $f = 30$ mm von der quadratischen Blende und wird dadurch erreicht, daß man ein Zwischenrohr von bestimmter Länge zwischen Objekt und Blende einschaltet. Der Versuch hat ergeben, daß ein Zwischenrohr von 25 mm Länge ausreicht, wenn man die Bedingung erfüllen will, daß beim Verschieben des Farb-

streifens senkrecht zu seiner Längsrichtung einmal der Prüfling *P* in Fig. 1 und dann das Farbplättchen *V′* des Farbstreifens jedesmal die volle Blende ausfüllt, so daß in den Zwischenlagen jedes beliebige Mischungsverhältnis der beiderseitigen Flächenanteile hergestellt werden kann. Hierbei wird das in der Blende zur Abbildung gelangende quadratische Feld, wiederum in der Diagonale gemessen = 22 mm, wobei noch ein schmaler Rand von 4—5 mm für die Numerierung der einzelnen Farbtäfelchen übrig bleibt. Die Herstellung der erforderlichen Farbstreifen (5 Stück mit je 20 Farbentäfelchen für den ganzen Farbenkreis) hat die oben genannte Dresdener Werkstelle übernommen. Sie werden dem Zusatzapparat in einer besonderen Schachtel beigegeben.

Es ist selbstverständlich, daß durch die vorbezeichnete Einengung des wirksamen Feldes der Fehlereinfluß durch den an sich unvermeidbaren Zwischenraum zwischen den beiden aneinander stoßenden Präparaten gegen früher eine Steigerung erfährt. Auf die Forderung, daß die beiden Präparate in tunlichst scharfer und gerader Trennungslinie aneinanderstoßen, muß daher hier erhöhter Wert gelegt werden. Damit ferner der Zwischenraum nicht durch Schattenwirkung unnötig verbeitert wird, ist ein etwa vorhandener Dickenunterschied durch passend gewählte Unterlagen tunlichst zu beseitigen. Nach den Mitteilungen des Herrn Prof. Krüger stehen der praktischen Ausführung dieser Vorsichtsmaßregeln keinerlei Bedenken entgegen.

Außer den vorgenannten beiden Zwischenrohren von je 25 mm Länge werden dem Zusatzapparat noch zwei weitere Zwischenrohre von ca. 100 mm Länge beigegeben, die ausschließlich für den Vergleich und die Farbmessung von sehr kleinen nur wenige mm großen farbigen Objekten (z. B. Teile von Blumenblättern, angeschliffene Flächen von Edelsteinen u. dgl.) bestimmt sind. Das an das längere Zwischenrohr angeschraubte Mikroskop-Objektiv $f = 30$ mm kommt jetzt in einen solchen Abstand von der Objektebene, in dem es sich vorher ohne das Zwischenrohr von der Ebene der quadratischen Blende befand. Es entsteht also jetzt in der Blende von dem kleinen Präparat ein ungefähr dreimal vergrößertes Bild, das bei richtiger Lage des Präparates die ganze Blende ausfüllt.

Hierbei wie bei allen diesen Untersuchungen geschieht die Prüfung der richtigen Lage dss Präparates, und ob die Blende in ihrer ganzen Ausdehnung von dem Objektbild ausgefüllt ist, durch Betrachtung der Austrittspupille (vgl. *l. c. S. 116*) mit der stets zur Hand befindlichen Aufsatzlupe. Handelt es sich um den Vergleich der Farben von zwei derartig kleinen Präparaten, so werden natürlich beiderseits die vorbezeichneten langen Zwischenrohre eingesetzt. Die Präparate kommen hierbei entweder auf die Bodenplatte des Photometers oder bei aufgesetztem Zusatzapparat auf die beiden Brücken zu liegen.

Damit bei der Verwendung der beiden langen Zwischenrohre der Objekttisch nicht im Wege steht, ist es notwendig, daß die beiden kreisförmigen Durchbohrungen der Tischplatte des Photometers um einige mm im Durchmesser erweitert werden, derart, daß die Objektivfassung durch die Öffnung hindurchgeht. Man hebt dann den Objekttisch so weit in die Höhe, daß durch ihn keine Schattenwirkung zu befürchten ist.

Will man an einem sehr kleinen Präparat eine Messung des Farbtones und seines *W*- und *S*-Gehaltes vornehmen, so kommt das lange Zwischenrohr nur über dem kleinen Präparat zur Verwendung. Auf der anderen Seite des Photometers wird je nach der Größe der Vergleichsobjekte das Mikroskop-Objektiv $f = 30$ mm entweder ohne das kleinere Zwischenrohr oder mit diesem angesetzt. Daß in solchen Fällen

links und rechts der Abstand des Mikroskop-Objektivs $f = 30$ mm von der quadratischen Blende verschieden ist, auf der einen Seite also ein vergrößertes, auf der anderen Seite ein verkleinertes Bild in der Blende entsteht, hat auf die Messung keinerlei Einfluß. Notwendig ist nur, daß auf beiden Seiten das gleiche Objektiv angesetzt ist und daß die Blende von dem Objektbild ganz ausgefüllt wird.

Die bei Einfügung des Zwischenrohres von 25 mm Länge entstehende, oben näher bezeichnete Begrenzung des wirksamen Feldes (siehe auch die linke Hälfte der Fig. 2) gilt nur für die erste zur Ausgabe gelangte Serie von Stufenphotometern mit den Nummern 22529 bis 22558. Bei der neuen Serie ist der Abstand der Rohrachsen voneinander (siehe die rechte Hälfte in Fig. 2) = 70 mm und der Abstand von dem Säulenrand = 56 mm. Hier kann dann das Zwischenrohr von 25 mm Länge wieder in Wegfall kommen, und das wirksame Objektfeld ist dann wieder wie früher, in der Diagonale gemessen = 34 mm. Der Farbstreifen erhält dann ebenfalls Farbplättchen von der aus Fig. 2 ersichtlichen Dimension mit einem schmalen Rand für die Numerierung der einzelnen Farbplättchen. Die langen Zwischenrohre für die Untersuchung sehr kleiner Präparate bleiben natürlich auch bei der neuen Serie für die Untersuchung kleiner Objekte bestehen.

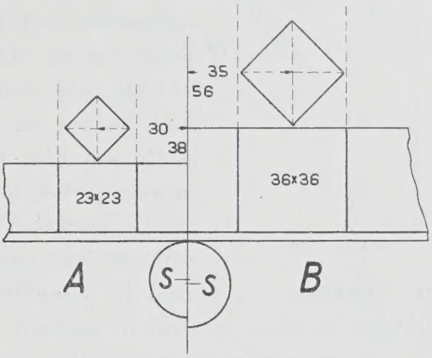


Fig. 2 ($^4/_{10}$ natürlicher Größe).
Die beiden punktiert bezeichneten Quadrate bezeichnen nach Größe und Lage das durch das Mikroskopobjektiv $f = 30$ mm in der quadratischen Blende abgebildete Objektfeld.
A. Bei den bisher ausgeführten Stufen-Photometern nach Einschaltung des 25 mm langen Zwischenrohres.
B. Bei der neuen Serie ohne dieses Zwischenrohr.

Wie gestaltet sich nunmehr die Handhabung des dem Photometer einverleibten Zusatzapparates für die beiden eingangs erwähnten Methoden der Farbtonbestimmung?

I. Die indirekte Methode der Farbtonbestimmung (Aufsuchen der Gegenfarbe [V' in Fig. 1] im Farbenstreifen, die mit dem Prüfling P gemischt ein neutrales Grau ergibt).

Man schraubt beiderseits die Zwischenrohre 25 mm und die beiden Objektive $f = 30$ mm an, legt links dem Farbstreifen V' gegenüber zwischen die beiden seitlichen Leisten den Prüfling P auf und auf die rechts aufgesetzte Brücke die Barytweißplatte W. Die genannten Leisten haben den Zweck, daß beim Verschieben des Farbstreifens in seiner Längsrichtung der Prüfling P nicht mitgenommen wird.

Alsdann wird durch Verschieben von F mittels der Schraube K dem Prüfling P die Gegenfarbe V', und durch Betätigung der Meßschraube am Photometer der Barytweißplatte Schwarz zugesetzt, bis beiderseits im Gesichtsfeld das gleiche neutrale Grau erscheint, so daß man setzen kann:

$$P + V' = W + S = \text{neutral grau.} \qquad \text{(I)}$$

II. Das direkte Verfahren der Farbtonmessung (Aufsuchen der farbtongleichen Farbe V des Farbenkreises und Ausgleich durch Zusatz von W und S). Wir unterscheiden in folgendem vier verschiedene Fälle:

1. Fall, der wohl am häufigsten vorkommen wird: Der Prüfling P liegt innerhalb des farbtongleichen Dreiecks WVS (siehe Fig. 3)[1].

[1]) Hier und in den nachstehenden Figuren ist absichtlich von der gleichseitigen Gestalt des

Wir setzen auf die linke Seite des Zusatzapparates die Brücke auf und legen darauf den Prüfling P. Rechts legen wir an die farbtongleiche Farbe V des Farbenstreifens eine Barytweißplatte W an und regulieren dann mit Hilfe der Schraube K den Weißzusatz und durch die Meßschraube am Photometer den Schwarzzusatz zu V, bis wird

$$(\mathrm{II}_1) \qquad P = V + W + S\,.$$

In der Fig. 3 sind die Wege, die von V nach P führen, durch die Pfeile 1 und 2 angedeutet. Der Pfeil 3 soll hinweisen auf die bereits oben angezeigte Verwendung eines passend gewählten, zwischen W und S gelegenen Grauplättchens, das an Stelle von W neben V gelegt wird.

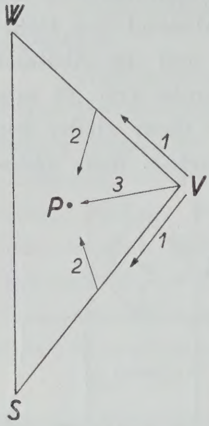


Fig. 3 (II_1).

Entsprechend den obigen Ausführungen über die Größe des wirksamen Feldes muß hierbei auf der rechten Seite zwischen dem Objektiv und der quadratischen Blende das 25 mm lange Zwischenrohr eingefügt werden. Auf der linken Seite braucht das nicht zu sein, wenn der Prüfling hinreichend groß ist. Ist er, wie oben angegeben, nur wenige mm groß, so wird links das lange Rohr eingeschaltet. An die Farbtonmessung an einem so kleinen Objekt schließt man dann zweckmäßig gleich die Messung des W- und S-Gehaltes an. Zu dem Ende legt man rechts wieder die Barytplatte auf und schraubt den Farbstreifen mittels der Schraube K so weit zurück bis die quadratische Blende rechts nur von W ausgefüllt erscheint. Oder aber man setzt auch rechts die Brücke auf und legt darauf die Barytweißplatte. Das weitere Verfahren zur Messung von S und W unter Benutzung des Paßfilters und des Sperrfilters im Okular ist dann so, wie in meinem früheren Aufsatz angegeben.

Gewissermaßen die Umkehrung der Aufgabe, den Farbton nach dem unter II_1 bezeichneten Verfahren zu bestimmen, ist die, aus einer gegebenen Farbe V des Ostwaldschen Farbenkreises *pa* ihre sämtlichen farbtongleichen Abkömmlinge durch Mischung der Farbe V mit den einzelnen Gliedern der W-S-Reihe optisch zu erzeugen. In diesem Falle wird von der Meßschraube des Photometers keinerlei Gebrauch gemacht. Sie bleibt dauernd auf der vollen Öffnung des Quadrates (Skalenteil 100) eingestellt. Wir ersetzen den Farbstreifen V (bzw. V' in Fig. 1) durch den Streifen mit der Graureihe und legen an sie, in Figur 1 also an die Stelle von P, das Farbtäfelchen V aus *pa* an, dessen Abkömmlinge wir erhalten wollen. Die Kombination von V mit dem weißen Ende der Graureihe liefert dann alle sogenannten hellklaren, die Kombination von V mit dem schwarzen Ende der Graureihe alle dunkelklaren und die Kombination von V mit den zwischen gelegenen Graustufen die trüben Farben des farbtongleichen Dreiecks WVS und bei Ausdehnung dieses Verfahrens auf die sämtlichen Farben V des Farbenkreises *pa* den sogenannten Farbenatlas. Will man die so erzeugten Farben mit der entsprechenden Farbe aus dem Ostwaldschen Farbenatlas vergleichen, so legt man diese auf die Brücke auf der andern Seite des Photometers.

2. Fall. Der Prüfling liegt außerhalb des farbtongleichen Dreiecks und in dem in Fig. 4 mit (2) bezeichneten Winkelraume. Daß überhaupt ein Prüfling außerhalb des farbtongleichen Dreiecks liegen kann, wird verständlich, wenn man berück-

Dreiecks abgewichen worden. Es soll damit zum Ausdruck gebracht werden, daß der Abstand der Farben V von W und S nicht für alle Teile des Farbenkreises der gleiche ist.

sichtigt, daß das W der Barytweißplatte noch nicht als das reinste Weiß und die Farben V des Ostwaldschen Farbenkreises keineswegs als Vollfarben anzusehen sind.

In diesem zweiten Falle muß also P verdunkelt und V aufgehellt werden (siehe die Pfeile in Fig. 4), wenn beiderseits das gleiche Aussehen erzielt werden soll.

$$(II_2) \qquad V + W = P + S\,.$$

Die Anordnung ist dann die, daß man rechts die Brücke mit dem Prüfling darauf aufsetzt und links die Barytweißplatte an den Farbstreifen V anlegt.

3. Fall. Der Prüfling liege in dem mit (3) bezeichneten Winkelraume (Fig. 5).

Auch hier liegt die Brücke rechts auf, darauf der Prüfling mit der daran anstoßenden Barytweißplatte W. Links ist auf das Farbtäfelchen V des Farbstreifens eingestellt. Man verschiebt aus freier Hand den Brückenschlitten und engt das wirksame Quadrat mit Hilfe der Meßschraube am Photometer ein, bis wird:

$$(II_3) \qquad V = P + W + S\,.$$

Auch hier kann mit Vorteil an Stelle der Barytweißplatte ein passend gewähltes Grauplättchen an P angelegt werden.

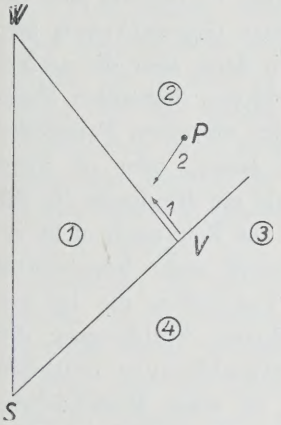


Fig. 4 (II_2).

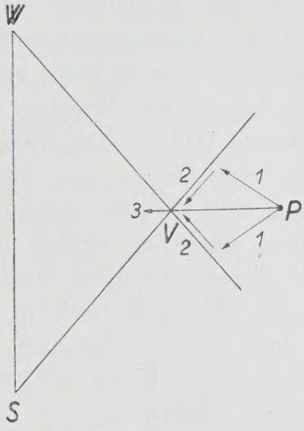


Fig. 5 (II_3.)

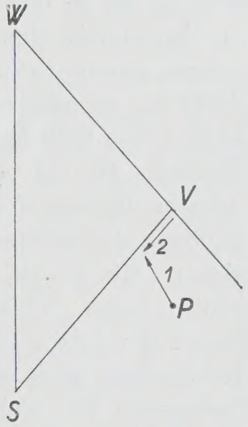


Fig. 6 (II_4).

4. Fall. Der Prüfling liege in dem mit (4) bezeichneten Winkelraum (Fig. 6).

Jetzt kommt die Brücke wieder links hin zu liegen, darauf der Prüfling P und daran anstoßend die Barytweißplatte W. Rechts wird die farbtongleiche Farbe V des Farbstreifens aufgesucht und diese mit der Meßschraube des Photometers verdunkelt, bis wird:

$$(II_4) \qquad P + W = V + S\,.$$

Eine Zeichnung, welche für jeden dieser vier Fälle die Lage der Brücke, ob rechts oder links, und die Lage der Präparate veranschaulicht, mag vielleicht beim praktischen Gebrauch des Apparates von Vorteil sein. Hier wollen wir uns mit dem Hinweis begnügen, daß die Brücke immer auf die Seite des Apparates gelegt werden muß, auf welcher Seite der Gleichung der Prüfling P steht. Bei der durch Fig. 1 veranschaulichten indirekten Methode der Farbtonbestimmung trifft diese Vorschrift natürlich nicht zu.

Forderung eines gleichabständigen Farbenkreises.

Was zunächst das Verhältnis der beiden vorstehend bezeichneten Methoden der Farbtonstimmung, der direkten und der indirekten zueinander anbetrifft, so muß von vornherein dem direkten Weg, der zum Ziele führt, da er außerdem ebenso bequem

ist wie der indirekte, vor diesem der Vorzug gegeben werden. Aber es sprechen auch mancherlei andere Gründe gegen die Verwendung der Gegenfarbe als Hilfsmittel zur Farbtonbestimmung. Ich will nur an eins erinnern. Jeder, der sich praktisch mit diesen Dingen befaßt hat, wird wissen, wie außerordentlich schwierig es ist, über die Gegenfarbe einen Farbton zu bestimmen, wenn die zu bestimmende Farbe zwischen Gelb und Rot im Farbenkreis gelegen ist. Denn diesen Farben gegenüber liegt als Gegenfarbe das Gebiet der blau-grünen Farben, die nicht allein nach meinem Empfinden so dicht beieinander stehen, daß die benachbarten Farben selbst des 24teiligen Farbenkreises — wieviel weniger noch die des 100teiligen Kreises — kaum noch voneinander zu unterscheiden sind, während die Farben in gelb-rot deutlich wahrnehmbare Stufen aufweisen. Es ist klar, daß die Unsicherheit in dem Aufsuchen der blaugrünen Gegenfarbe auch in der Farbtonbestimmung einer rot-gelben Farbe sich auswirken muß, so daß schon allein aus diesem Grunde die Gegenfarbe-Methode in Zukunft außer acht gelassen werden sollte[1]).

Wenn man das aber tut, so ist für die Farbtonbestimmung und auch für die Messung des *S*- und *W*-Gehaltes einer Farbvorlage die bisherige Forderung, daß die im Farbenkreis einander diametral gegenüberstehenden Farben Gegenfarben sein müssen, gegenstandslos geworden. Um so mehr müssen wir dann aber die andere Forderung zu erfüllen suchen, daß die zur Messung des Farbtones dienenden Farbstreifen eine tunlichst vollkommene Gleichabständigkeit der einzelnen Farbstufen erhalten. Ob sich überhaupt beide Forderungen vereinigen lassen, oder ob nicht vielmehr die eine Forderung als eine Überbestimmung, also als ein Hindernis für die Erfüllung der anderen Forderung angesehen werden muß, ist zur Zeit noch nicht erwiesen. Mir scheint, daß mit Farbstoffen diese Frage überhaupt nicht beantwortet werden kann. Vielleicht führen die spektroskopischen Versuche, die ich seit Beginn des Jahres 1923 mit dem Ziele verfolge, im umgekehrten Strahlengang des Spektroskops nach dem System Fraunhofer-Maxwell-Ostwald einen optischen Farbenkreis mit gleichabständigen Farbnormen zu erhalten, zu einer Entscheidung auch hierüber. Die Instrumente, die hierfür gebraucht werden, sind außerordentlich komplizierter Natur und verlangen in ihrer Ausführung die höchste Präzision und zur Lösung der Aufgabe noch eine Reihe von grundlegenden Versuchen, so daß über diese Dinge zur Zeit Näheres noch nicht mitgeteilt werden kann.

Daß der Ostwaldsche Farbenkreis *pa* die verlangte Gleichabständigkeit der aufeinander folgenden Farbtöne *V* nicht hat, ist für jeden, der ein farbentüchtiges (normales) Auge hat, sofort ersichtlich. Abgesehen von den beim Übergang von Grün nach Gelb und von Purpur nach Blau auftretenden Sprüngen ist am auffälligsten das bereits oben erwähnte Verhalten der blaugrünen Farben zu den gelb-roten. Das weiß auch Herr Ostwald, und es ist ihm wiederholt auch von anderen gesagt worden. Er vertritt aber jetzt noch — vergleiche die neueste Auflage der Farbenfibel, Leipzig 1924, S. 18 — den Standpunkt, daß die geringe Unterscheidbarkeit der Farben im Eisblau und

[1]) Ein anderes Bedenken gegen die Methode der Farbtonbestimmung durch Aufsuchen der Gegenfarbe, welche mit der Farbvorlage gemischt ein neutrales Grau ergibt, besteht darin, daß hier zwei Farben gemischt werden, für die die Empfindung nicht bei allen Beobachtern die gleiche ist. Personen mit stark abweichendem Farbenempfindungsvermögen, wie z. B. die grün-rot-Verwechsler, bleiben natürlich für beide Methoden von der Messung ausgeschlossen. Was ich meine, sind die sehr viel geringeren Unterschiede, die dem Beobachter nicht einmal bekannt zu sein brauchen. Diese Unterschiede sind es, welche das Urteil über die erzielte Graumischung fälschen können, während sie für die Beurteilung der Übereinstimmung im Aussehen der farbtongleichen Farben kaum noch ins Gewicht fallen.

im Seegrün nur darauf zurückzuführen sei, weil wir diese Farben angeblich in der Natur sehr wenig zu sehen bekommen, daß aber bei einer längeren Beschäftigung mit diesem Gebiet das Unterscheidungsvermögen zunehme. Für meine Person muß ich allerdings sagen, daß ich bei mir eine solche Steigerung des Unterscheidungsvermögens meines Auges für die blau-grünen Farben noch nicht habe feststellen können. Daß eine Steigerung möglich ist, will ich nicht abstreiten. Mit demselben Recht muß dann aber auch erwartet werden, daß bei der gleichlaufenden Beschäftigung mit den gelb-roten Farben auch hier das Unterscheidungsvermögen sich steigert, so daß das ungleiche Verhältnis der beiden einander gegenüberstehenden Farbenkomplexe in bezug auf ihr Unterscheidungsvermögen im wesentlichen das gleiche bleibt wie vorher.

Wie aber soll das geringe Unterscheidungsvermögen des Auges für die blau-grünen Farben im Farbenkreis *pa*, die doch nach den Grundsätzen der Gegenfarben-Methode abgeleitet werden, anders erklärt werden? Ich habe mir darüber folgende Gedanken gemacht. Nach den Angaben des Herrn Ostwald soll jede Farbe des auf Papier hergestellten Farbenkreises *pa* den Weißgehalt $p = 4\,^0/_0$ und den Schwarzgehalt $a = 11\,^0/_0$ haben. Ebenso sollen alle sogenannten wertgleichen Farbenkreise, das sind alle auf dem Mantel des Doppelkegels und in seinem Innern befindlichen Farbkreise, die parallel zu *pa* gerichtet sind und deren Mittelpunkte auf der Graureihe liegen, für den ganzen Kreis jedesmal den gleichen *W*- und *S*-Gehalt haben. Mit der Annäherung eines solchen wertgleichen Kreises an *W* und *S* des Farbendoppelkegels wird aber nicht allein der Kreisdurchmesser immer kleiner, auch die Farbtöne rücken immer näher zusammen, und das Unterscheidungsvermögen des Auges für die benachbarten Farbtöne wird immer geringer. Man braucht nur die von Ostwald in seiner Farbenfibel 10. Auflage S. 40 und 41 wiedergegebenen Farbenkreise *ea* und *ni* anzusehen, um das bestätigt zu finden. In den Grenzfällen endlich, in dem der Kreis mit der Spitze *W* oder mit der Spitze *S* des Doppelkegels zusammenfällt, ist mit den Farben auch ihr Unterscheidungsvermögen auf den Wert Null herabgesunken. Daß dieser Umstand auch die Genauigkeit der Farbtonbestimmung beeinflußt, liegt auf der Hand. Die Messung wird um so ungenauer ausfallen, je näher die zu messende Farbvorlage an *W* oder *S* gelegen ist.

Nun trifft die Behauptung, daß der auf Papier hergestellte Farbenkreis *pa* den Weißgehalt $p = 4\,^0/_0$ und den *S*-Gehalt $a = 11\,^0/_0$ habe, nach meinen Messungen am Stufen-Photometer gar nicht zu. Der Weißgehalt wird im großen und ganzen richtig sein, da er fast ausschließlich von der Zerstreuung des auffallenden weißen Lichtes an der Oberfläche herrührt. Genügt doch schon ein einfacher Lacküberzug, der das schräg auffallende Licht in einer bestimmten Richtung ablenkt, um diesen *W*-Gehalt nahezu vollständig zum Verschwinden zu bringen.

Mit dem *S*-Gehalt aber liegt die Sache ganz anders. Wie meine Messungen ergeben haben, man vergleiche die nachstehenden meiner früheren Arbeit entnommenen Werte für *S*

	gelb		rot	blau		grün		gelb
Nr.	00		25	50		75		00
$S =$	30	20	30	41	65	84	55	$30\,^0/_0$,

ist nicht allein für die verschiedenen Farben des Kreises *pa* der *S*-Gehalt verschieden, sondern weicht auch von dem oben angegebenen Wert $11\,^0/_0$ ganz erheblich ab. Was uns aber hier besonders interessiert ist dies, daß der *S*-Gehalt für die blau-grünen Farben so sehr viel größer ist als für die gelb-roten Farben des Farbenkreises. Wir müssen daher den Ostwaldschen Farbenkreis *pa* in den unteren Teil des hypothe-

tischen Farbendoppelkegels verlegen, wobei die blau-grünen Teile sehr viel näher an S zu liegen kommen als die gelb-roten Teile[1]). Daraus folgt dann aber auch sofort, daß das Unterscheidungsvermögen des Auges für die in pa dargestellten blau-grünen Farben, eben wegen ihres größeren Schwarzgehaltes, sehr viel geringer sein muß, als das Unterscheidungsvermögen für die weiter ab von S abstehenden gelb-roten Farben. Die Beseitigung dieses Mißstandes ist nur dadurch möglich, daß es gelingt, blau-grüne Farbstoffe mit wesentlich geringerem S-Gehalt herzustellen.

Ob dieses Ziel überhaupt erreichbar sein wird, erscheint mir in Anbetracht der über das ganze Spektrum sich ausdehnenden Absorptionswirkung der Farbstoffe und der mit der fortschreitenden Begrenzung der durchgelassenen Farbe auf einen immer engeren Spektralbezirk verbundenen Steigerung der Absorptionswirkung in den übrigen Teilen des Spektrums mehr als fraglich. Die einzige Aussicht, dem Ideal eines gleichstufigen Farbenkreises näher zu kommen, scheint mir der Weg zu bieten, den ich bereits oben andeutete: die Erzeugung der Farben durch das Spektroskop im umgekehrten Strahlengang mit den hierbei möglichen auf bestimmte Teile des Spektrums scharf begrenzten künstlichen Absorptionsstreifen, die keinerlei absorbierende Wirkung auf die benachbarten Teile des Spektrums ausüben.

Die effektive Wellenlänge von Lichtfiltern und die Methoden zu ihrer Bestimmung, insbesondere bei der optischen Pyrometrie.

Von

F. Henning in Charlottenburg.

1. Einleitung. Wenn eine physikalische Beobachtung bei einer bestimmten Farbe ausgeführt werden soll, so ist es oft zweckmäßig, sich statt einer Vorrichtung zur spektralen Zerlegung des Lichtes eines Lichtfilters zu bedienen, weil dadurch die Anordnung nicht nur erheblich vereinfacht, sondern die zu beobachtende Erscheinung im allgemeinen auch erheblich lichtstärker wird. Aus diesem Grunde sind fast alle optischen Pyrometer mit farbigen Lichtfiltern ausgerüstet, und nur für sehr genaue wissenschaftliche Messungen verwendet man das Spektralpyrometer. Gewisse Schwierigkeiten entstehen, wenn die Wellenlänge, welche dem vom Filter hindurchgelassenen Licht zuzuordnen ist, mit einiger Genauigkeit angegeben werden soll. Alle Filter haben einen Durchlässigkeitsbereich beträchtlicher spektraler Breite und zur Bestimmung der „wirksamen" oder „effektiven" Wellenlänge muß man einen Mittelwert für die Wellenlängen aller hindurchtretenden Strahlen bilden. Nach welcher Regel dies zu geschehen hat, ist zunächst fraglich. Ohne Zweifel ist hierbei die spektrale Helligkeit h_λ' bei der Wellenlänge λ von ausschlaggebender Bedeutung. Es liegt nahe, die effektive Wellenlänge λ_e aus der Gleichung

$$\lambda_e^n = \frac{\int \lambda^n \cdot h_\lambda' \cdot d\lambda}{\int h_\lambda' \cdot d\lambda} \tag{1}$$

zu bestimmen, bei der einstweilen der Exponent n unbekannt bleibt.

Die spektrale Helligkeit h_λ' gewinnt man, wenn man die spektrale Intensität der Energiestrahlung $E'(\lambda, T)$ des auf der Temperatur T befindlichen Strahles mit der

---

[1]) Daß der Farbenkreis pa unmöglich eine Kreislinie sein kann, hatte ich bereits in meiner früheren Veröffentlichung (S. 119) angegeben.

spektralen Durchlässigkeit $\varrho(\lambda)$ des Filters und der spektralen Empfindlichkeit des Auges $\varphi(\lambda)$ multipliziert, so daß

$$h_\lambda' = \varphi(\lambda) \cdot \varrho(\lambda) \cdot E'(\lambda, T) \qquad 2)$$

zu setzen ist. Damit folgt weiter, daß die effektive Wellenlänge eine Funktion der Temperatur des Strahlers und seines Emissionsvermögens $A(\lambda T)$ ist; denn allgemein gilt innerhalb der Grenzen des Wienschen Strahlungsgesetzes

$$E'(\lambda, J) = A(\lambda, T) \cdot E(\lambda, T) = A(\lambda, T) \cdot C\lambda^{-5} e^{-\frac{c}{\lambda T}} = C\lambda^{-5} \cdot e^{-\frac{c}{\lambda S}}. \qquad 3)$$

Hierbei bezeichnet S die schwarze Temperatur des Strahlers bei der Wellenlänge λ und $E(\lambda, T)$ die spektrale Strahlungsintensität eines schwarzen Körpers der Temperatur T. Mit Hilfe von Gl. 3) ist zu schließen, daß die effektive Wellenlänge wesentlich von dem Verlauf der Energiekurve abhängt, die der betrachtete Strahler im sichtbaren Gebiet besitzt. Man kennzeichnet diesen Verlauf am einfachsten durch die Farbtemperatur F des Strahlers, so daß also die effektive Wellenlänge eines Lichtfilters kurz als Funktion dieser Farbtemperatur

$$\lambda_F = f(F) \qquad 4)$$

darstellbar sein muß.

2. Die Farbtemperatur. Unter der Farbtemperatur F versteht man diejenige Temperatur, bei der für einen schwarzen Körper das Energieverhältnis $E(\lambda_1, F) : E(\lambda_2, F)$ bei zwei differentialen Wellenlängenbezirken λ_1 bis $\lambda_1 + d\lambda$ und λ_2 bis $\lambda_2 + d\lambda$ den gleichen Wert besitzt wie das entsprechende Verhältnis $E'(\lambda_1, T) : E'(\lambda_2, T)$ für den betreffenden Strahler der Temperatur T. Unter Einführung des Proportionalitätsfaktors p darf man also

$$E'(\lambda, T) = p \cdot E(\lambda, F) = p \cdot C \cdot \lambda^{-5} e^{-\frac{c}{\lambda F}}, \qquad 5)$$

und somit

$$h_\lambda' = p \cdot \varphi(\lambda) \cdot \varrho(\lambda) \cdot E(\lambda, F) \qquad 6)$$

setzen. Der Zusammenhang der schwarzen Temperatur S mit der wahren Temperatur T und der Farbtemperatur F wird durch die Gleichungen

$$\frac{1}{S_\lambda} = \frac{1}{T} - \frac{\lambda}{c} \ln A(\lambda, T) \qquad 7)$$

und

$$\frac{1}{S_\lambda} = \frac{1}{F} + \zeta \cdot \lambda \qquad 8)$$

gegeben. Hierbei bezeichnet ζ eine von der Wellenlänge λ unabhängige Konstante, die aber von der Art des Strahlers abhängt und auch eine Funktion der Temperatur sein kann. Es hat sich indessen gezeigt, daß ζ für eine Reihe der wichtigsten Strahler wie Kohle, Wolfram und Platin unabhängig von der Temperatur ist. Im Folgenden soll dies allgemein angenommen und ζ kurz als Selektivität des Strahlers bezeichnet werden. Für den schwarzen Körper ist $\zeta = 0$. Für andere Strahler ist ζ unschwer bestimmbar, wenn man mit einem Spektralpyrometer bei gleicher Farbtemperatur die schwarzen Temperaturen S für zwei Wellenlängen beobachtet. Damit ist nach Gl. 8) aus der leicht meßbaren schwarzen Temperatur auch sogleich die Farbtemperatur F zu gewinnen.

Man erkennt aus Gl. 7) und 8), daß nur solche Strahler in dem Sinne der oben gegebenen Definition eine Farbtemperatur besitzen, für die das Emissionsvermögen $A(\lambda, T)$ im sichtbaren Gebiet der Bedingung

$$A(\lambda, T) = e^{-c\zeta} \cdot e^{\frac{c}{\lambda}\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{F}\right)} \qquad 9)$$

gehorcht, die zur Folge hat, daß der Proportionalitätsfaktor p der Gl. 5) und 6) den Wert

$$p = e^{-c\zeta} \tag{10}$$

annimmt. Bei den soeben genannten Strahlern scheint Gl. 9) mit genügender Genauigkeit erfüllt zu sein. Für andere Strahler, deren Emissionsvermögen der Gl. 9) nicht genügend genau gehorcht, faßt man den Begriff der Farbtemperatur etwas weiter, indem man nur fordert, daß eine Temperatur F eines schwarzen Körpers gefunden werden kann, bei der dieser dem Auge in der gleichen Farbe zu leuchten scheint wie der betreffende andere Strahler.

3. Die effektive Wellenlänge bei der optischen Pyrometrie. Bei der optischen Pyrometrie handelt es sich stets darum, die Helligkeit zweier Strahler, deren Farbtemperaturen F_1 und F_2 im allgemeinen verschieden sind, zu vergleichen. Nach den bisherigen Ausführungen müssen hierbei, falls ein Farbglas verwendet wird, zwei verschiedene effektive Wellenlängen $\lambda_{F_1} = f(F_1)$ und $\lambda_{F_2} = f(F_2)$ in Frage kommen, die beide als gleichberechtigt anzusehen sind. Andererseits tritt aber in der Hauptgleichung der optischen Pyrometrie, welche das spektrale Helligkeitsverhältnis $h(\lambda, T_1) : h(\lambda, T_2)$ zweier schwarzer Körper bei der Wellenlänge λ mit ihren Temperaturen T_1 und T_2 verbindet:

$$\ln \frac{h(\lambda, T_1)}{h(\lambda, T_2)} = \frac{c}{\lambda}\left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}\right) \tag{11}$$

nur eine Wellenlänge auf. Diese Gleichung gilt auch für den Fall, daß es sich um die Helligkeiten $h_1'(\lambda, T_1)$ und $h_2'(\lambda, T_2)$ zweier beliebiger Strahler handelt, doch sind dann auf der rechten Seite der Gleichung die wahren Temperaturen T_1 und T_2 durch die (auf die Wellenlänge λ bezogenen) schwarzen Temperaturen S_1 und S_2 zu ersetzen, und man erhält zugleich mit Rücksicht auf Gl. 8) und 10)

$$\ln \frac{h_1'(\lambda, T_1)}{h_2'(\lambda, T_2)} = \frac{c}{\lambda}\left(\frac{1}{S_2} - \frac{1}{S_1}\right) = \frac{c}{\lambda}\left(\frac{1}{F_2} - \frac{1}{F_1}\right) + c(\zeta_2 - \zeta_1) = \frac{c}{\lambda}\left(\frac{1}{F_2} - \frac{1}{F_1}\right) - \ln \frac{p_2}{p_1}. \tag{12}$$

Indem man die Gl. 11) und 12), welche zunächst nur für spektral zerlegtes Licht gelten, auch für die Helligkeiten H und H' eines endlichen Wellenlängenbereiches (wie es durch ein Farbglas bestimmt wird) als gültig ansieht, gewinnt man eine neue Definition der effektiven Wellenlänge $\lambda_{F_1 F_2}$, die sich als Funktion der beiden Farbtemperaturen F_1 und F_2 darstellt:

$$\ln \frac{H_1'(\lambda, T_1)}{H_2'(\lambda, T_2)} = \frac{c}{\lambda_{F_1, F_2}}\left(\frac{1}{S_2} - \frac{1}{S_1}\right) = \frac{c}{\lambda_{F_1, F_2}}\left(\frac{1}{F_2} - \frac{1}{F_1}\right) + c(\zeta_2 - \zeta_1) = \frac{c}{\lambda_{F_1, F_2}}\left(\frac{1}{F_2} - \frac{1}{F_1}\right) - \ln \frac{p_2}{p_1}. \tag{12a}$$

Man gelangt zu einem in jeder Hinsicht befriedigenden Ausdruck für die effektive Wellenlänge, wenn man

$$\frac{1}{\lambda_{F_1 F_2}} = \frac{1}{2}\left[\frac{1}{\lambda_{F_1}} + \frac{1}{\lambda_{F_2}}\right] = \frac{1}{\Lambda} - \gamma\left(\frac{1}{F_1} + \frac{1}{F_2}\right) \tag{13}$$

setzt[1])[2]). Die Bedeutung der Konstanten Λ und γ erkennt man nach Einsetzen von Gl. 13) in 12a). Man erhält dann, falls es sich um das Helligkeitsverhältnis

---

[1]) W. de Groot, *Physika* **4**. *S. 157. 1924.*

[2]) F. Henning, *Zeitschr. f. Phys.* **30**. *S. 285. 1924.*

$H'(\lambda, T_1) : H'(\lambda, T_2)$ eines und desselben Strahlers ($\zeta_2 = \zeta_1$) bei zwei Farbtemperaturen F_1 und F_2 handelt,

$$\ln \frac{H'(\lambda, T_1)}{H'(\lambda, T_2)} = \frac{c}{\Lambda}\left(\frac{1}{F_2} - \frac{1}{F_1}\right) - \gamma \cdot c \left(\frac{1}{F_2^2} - \frac{1}{F_1^2}\right), \tag{14}$$

woraus sich bei Einführung einer neuen Konstante k

$$\ln H'(\lambda, T) = k - \frac{c}{\Lambda}\,\frac{1}{F} + \gamma\, c \frac{1}{F^2} \tag{15}$$

ergibt. Diese Gleichung für die photometrische Helligkeit H' irgendeines Strahlers, der im Sinne von Gl. 8) eine Farbtemperatur besitzt, gilt nur innerhalb der Grenzen des Wienschen Gesetzes, aber sie scheint nicht auf das begrenzte Spektralgebiet eines Farbglases beschränkt, sondern auch auf die Gesamthelligkeit $[\varrho(\lambda) = \text{konst} = 1]$ anwendbar zu sein.

Um die Konstanten Λ und γ der Gleichung 13) zu ermitteln, muß die effektive Wellenlänge für zwei Wertepaare F_1 und F_2 bekannt sein. Am einfachsten liegen die Verhältnisse, wenn $F_2 = F_1 = F$ ist. Aus Gl. 13) folgt dann $\frac{1}{\lambda_F} = \frac{1}{\Lambda} - \frac{2\gamma}{F}$ und die gesuchten Konstanten Λ und γ lassen sich also gewinnen, wenn man nach Kenntnis des Exponenten n aus den Gl. 1) und 6) die effektive Wellenlänge für zwei Temperaturen F berechnet. Den Exponenten n findet man durch folgende Betrachtungen[1]).

Die in der Photometrie allgemein eingeführte Annahme, daß sich im Auge die Lichteindrücke $h_\lambda' \cdot d\lambda$, welche zu verschiedenen differentialen Spektralbereichen gehören, zu einem Gesamtlichteindruck der Helligkeit H' addieren lassen, führt zu der Beziehung

$$H' = \int h_\lambda' \cdot d\lambda\,. \tag{16}$$

Mit ihr erhält man aus den Gleichungen 2), 5) und 12a) für $F_1 = F$ und $F_2 = F + dF$

$$\frac{c}{F^2} \cdot dF \frac{\int \frac{1}{\lambda} \cdot \varphi(\lambda) \cdot \varrho(\lambda) \cdot E(\lambda, F) \cdot d\lambda}{\int \varphi(\lambda) \cdot \varrho(\lambda) \cdot E(\lambda, F) \cdot d\lambda} = e^{\frac{c}{\lambda_F} \cdot \frac{dF}{F^2}}, \tag{17}$$

oder nach Entwickelung der rechten Seite

$$\frac{1}{\lambda_F} = \frac{\int \frac{1}{\lambda} \cdot \varphi(\lambda) \cdot \varrho(\lambda) \cdot E(\lambda, F) \cdot d\lambda}{\int \varphi(\lambda) \cdot \varrho(\lambda) \cdot E(\lambda, F) \cdot d\lambda} = \frac{\int \frac{1}{\lambda} \cdot h_\lambda' \cdot d\lambda}{\int h_\lambda' \cdot d\lambda}\,. \tag{18}$$

Der Vergleich mit Gl. 1) lehrt, daß der Exponent n den Wert -1 besitzt.

Da die spektrale Durchlässigkeit $\varrho(\lambda)$ des Lichtfilters leicht experimentell bestimmbar und die Intensität $E(\lambda, F)$ des schwarzen Körpers als Funktion der Wellenlänge λ und der Farbtemperatur F bekannt ist, so wird zur Berechnung von λ_F nach Gl. 18) nur noch die Kenntnis der Farbenempfindlichkeit $\varphi(\lambda)$ des Auges gefordert. Nun wird diese Farbenempfindlichkeit besonders an den Grenzen des sichtbaren Gebietes nicht von allen Beobachtern übereinstimmend angegeben; also ist nicht zu erwarten, daß die effektive Wellenlänge eines Farbglases unter sonst gleichen Bedingungen für alle Beobachter denselben Wert besitzt. Die Unterschiede betragen, wenn man die verschiedenen Angaben über die Farbenempfindlichkeit des normalen Auges zugrunde legt, 0,001 bis 0,002 μ und sie erreichen zweifellos erheblich höhere Beträge, wenn es sich um Beobachter mit nicht normalen Augen handelt. Es empfiehlt sich,

[1]) P. D. Foote: *Bull. Bur. Stand.* **12.** *S. 483. 1916.*

die effektive Wellenlänge zunächst auf Normalsichtigkeit zu beziehen und für die Berechnung nach Gl. 18) bestimmte Werte von $\varphi(\lambda)$ allgemein anzunehmen. Hierfür kommen in erster Linie die in der folgenden Tabelle wiedergegebenen Ergebnisse der zahlreichen Versuche von Gibson und Tyndall[1]) in Betracht.

Augenempfindlichkeit nach Gibson und Tyndall.

λ	$\varphi(\lambda)$	λ	$\varphi(\lambda)$	λ	$\varphi(\lambda)$	λ	$\varphi(\lambda)$
0,40 μ	0,0004	0,50 μ	0,323	0,60 μ	0,631	0,70 μ	0,0041
0,41	0,0012	0,51	0,503	0,61	0,503	0,71	0,0021
0,42	0,0040	0,52	0,710	0,62	0,381	0,72	0,00105
0,43	0,0116	0,53	0,862	0,63	0,265	0,73	0,00052
0,44	0,023	0,54	0,954	0,64	0,175	0,74	0,00025
0,45	0,038	0,55	0,995	0,65	0,107	0,75	0,00012
0,46	0,060	0,56	0,995	0,66	0,061	0,76	0,00006
0,47	0,091	0,57	0,952	0,67	0,032		
0,48	0,139	0,58	0,870	0,68	0,017		
0,49	0,208	0,59	0,757	0,69	0,0082		

Hat man die Konstanten Λ und γ nach der soeben beschriebenen Methode ermittelt, so kann die in Gl. 12a) eingehende Wellenlänge berechnet werden, wenn die Farbtemperaturen F_1 und F_2 der beiden Strahler 1 und 2, deren Helligkeiten miteinander in Beziehung gesetzt werden sollen, gegeben sind. Bei der optischen Pyrometrie werden die Helligkeiten dieser beiden Strahler nicht unmittelbar verglichen, sondern jede für sich mit der Helligkeit der Pyrometerlampe, deren Farbtemperatur F_p sei. Demgemäß sind drei effektive Wellenlängen zu unterscheiden, die kurz $\lambda_{1,p}$, $\lambda_{2,p}$ und $\lambda_{1,2}$ genannt seien. Der Strahler 2, auf den alle Helligkeitsmessungen bezogen werden, ist der schwarze Körper. Die Pyrometerlampe, welche vor dem schwarzen Körper geeicht ist, ersetzt diesen bei der Temperaturmessung. Das für die Helligkeiten geltende Substitutionsprinzip trifft auch für die effektiven Wellenlängen zu, da nach Gl. 13) $\left(\frac{1}{\lambda_{1,p}} - \frac{1}{\Lambda}\right) - \left(\frac{1}{\lambda_{2,p}} - \frac{1}{\Lambda}\right) = \left(\frac{1}{\lambda_{1,2}} - \frac{1}{\Lambda}\right)$ ist. In allen Gleichungen ist darum, soweit es sich um Anwendungen auf die optische Pyrometrie handelt, $S_2 = F_2 = T$ zu setzen. Letzten Endes werden alle Messungen auf die Helligkeit H_0 des schwarzen Körpers am Goldschmelzpunkt $T = T_0$ zurückgeführt, so daß $S_2 = F_2 = T_0 = 1336^0$ ist. Gl. 13) geht dann über in die Beziehung

$$\frac{1}{\lambda_{F,T_0}} = \frac{1}{\Lambda} - \gamma\left(\frac{1}{F} + \frac{1}{T_0}\right), \tag{19}$$

wofür in fast stets ausreichender Näherung

$$\lambda_{F,T_0} = \Lambda + \gamma'\left(\frac{1}{F} + \frac{1}{T_0}\right) \tag{20}$$

gesetzt werden darf.

4. Zahlenbeispiel für die Veränderlichkeit der effektiven Wellenlänge. Die folgende Tabelle gestattet einen Überblick über die Änderung der effektiven Wellenlänge mit der Farbtemperatur F und zwar für ein Schottsches Rotglas Nr. 4512 von 4 mm Dicke und ein grünes Gelatinefilter, wenn die Helligkeitsvergleichung zwischen einem Strahler der Farbtemperatur F und einem schwarzen Körper der Temperatur $T_0 = 1336^0$ ausgeführt wird.

[1]) K. S. Gibson und E. P. T. Tyndall, *Scient. Pap. Bur. Stand.* ***19.*** *131—191. 1923. Nr. 475.*

$F-273^0$	Rotfilter Nr. 4512 $\lambda_{F,T_0}-0{,}6560\,\mu$	Gelatine Grünfilter $\lambda_{F,T_0}-0{,}5450\,\mu$
800° C	+ 0,0024 μ	+ 0,0005 μ
900	+ 0,0019	+ 0,0001
1000	+ 0,0015	— 0,0002
1100	+ 0,0011	— 0,0005
1200	+ 0,0009	— 0,0008
1300	+ 0,0006	— 0,0010
1400	+ 0,0004	— 0,0012
1500	+ 0,0002	— 0,0013
2000	— 0,0006	— 0,0020
2500	— 0,0011	— 0,0023
3000	— 0,0015	— 0,0026
3500	— 0,0017	— 0,0029

Die Zahlen folgen aus den Formeln:

$$\text{Rotfilter:}\quad \lambda_{F,T_0}=0{,}6480+6{,}2\left(\frac{1}{F}+\frac{1}{1336}\right)$$

$$\text{Grünfilter:}\quad \lambda_{F,T_0}=0{,}5371+5{,}0\left(\frac{1}{F}+\frac{1}{1336}\right).$$

In dem Temperaturintervall von 800 bis 3500° ändert sich hiernach die effektive Wellenlänge der beiden Lichtfilter um je 0,63°/₀. Dieser Betrag übersteigt um das Mehrfache die Grenze, mit der die effektive Wellenlänge insbesondere im Gebiet der höheren Temperaturen bekannt sein muß, um nach Gl. 12a) die Temperatur mit derselben Genauigkeit ableiten zu können, wie sie der sonstigen Meßgenauigkeit bei der optischen Pyrometrie entspricht.

Es ist zu bemerken, daß die effektive Wellenlänge eines Filters nicht nur von der Temperatur des Strahlers, sondern auch ein wenig von der Temperatur des Filters selbst abhängt. Aus zahlreichen Versuchen ist bekannt, daß die Absorptionsbanden durchsichtiger Körper sich mit zunehmender Temperatur nach langen Wellen verschieben und daß besonders im Gebiet der größten Absorption die spektrale Durchlässigkeit des Filters sehr stark mit der Eigentemperatur des Filters veränderlich ist. Da diese Wellenlängen aber für die Gesamtdurchlässigkeit nur einen geringen Beitrag liefern, so hält sich der Temperaturkoeffizient der „effektiven Wellenlänge" in mäßigen Grenzen. Bei dem Schottschen Rotglas der genannten Art wächst die effektive Wellenlänge um 0,0015 μ, wenn die Temperatur des Filters von 20 auf 30° erhöht wird. Auch die Dicke des Farbglases ist von Einfluß auf die Wellenlänge, die bei dem Schottschen Rotfilter um etwa 0,0035 μ wächst, wenn man statt eines Glases von 4 mm Dicke zwei derartige Gläser verwendet.

5. Experimentelle Ermittelung der effektiven Wellenlänge, a) mittels der Strahlungsgleichung. Setzt man entsprechend den Darlegungen am Ende von Ziffer 3 in den Gl. 12a) und 13) $F_2=T_0$ und $F_1=F$, so folgt aus beiden die Beziehung

$$\ln\frac{H'}{H_0}=\frac{c}{\Lambda}\left(\frac{1}{T_0}-\frac{1}{F}\right)-\gamma\cdot c\left(\frac{1}{T_0^{\,2}}-\frac{1}{F^2}\right)-c\cdot\zeta. \qquad 21)$$

Ohne Kenntnis der effektiven Wellenlänge führt diese Gleichung zur Ermittelung der Farbtemperatur F aus dem Helligkeitsverhältnis $\frac{H'}{H_0}$, wenn bei gegebener Selektivität ζ des Strahlers die beiden Konstanten der Gleichung $\frac{c}{\Lambda}$ und $\gamma\cdot c$ etwa mit Hilfe zweier

optischer Fixpunkte bekannter Farbtemperatur F bestimmt werden könnten. Nach Einführung des Zahlenwertes $c = 14300\ \mu \cdot$ Grad ist dann auch die effektive Wellenlänge vollständig berechenbar. Leider sind bisher derartige optische Fixpunkte, die mit genügender Sicherheit reproduzierbar sind, nicht bekannt.

Für eine Reihe von Fällen mit geringeren Ansprüchen an Genauigkeit wird die Annahme genügen, daß die Änderung der effektiven Wellenlänge von untergeordneter Bedeutung ist. Dann ist die Konstante $\gamma = 0$ zu setzen und Gl. 21) geht nach Anwendung von Gl. 8) über in eine Gleichung der Form 11), nämlich

$$\ln \frac{H'}{H_0} = \frac{c}{\lambda}\left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{F}\right) - c\zeta = \frac{c}{\lambda}\left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{S}\right). \qquad 22)$$

Um die Konstante $\frac{c}{\lambda}$ zu gewinnen, ist die Kenntnis nur eines optischen Fixpunktes erforderlich, dessen Temperatur nicht mit T_0 zusammenfällt. Man hat sich zur Bestimmung von $\frac{c}{\lambda}$ oder von λ gelegentlich der Gl. 22) bedient, indem man einen schwarzen Körper $(\zeta = 0)$ außer auf die Temperatur T_0 des Goldschmelzpunktes noch auf eine zweite Temperatur $T = F = S$ heizte, deren Höhe durch ein Thermoelement ermittelt wurde.

b) nach der Methode von de Groot. Ohne die Kenntnis einer bestimmten Temperatur führt eine von de Groot angegebene Methode zu einem Wert für die effektive Wellenlänge des Filters. Allerdings bleibt auch hierbei der Gang der effektiven Wellenlänge mit der Farbtemperatur außer Betracht.

Die Methode kann in etwas allgemeinerer Form als der Autor selbst sie darstellt, folgendermaßen skizziert werden: Zwei Strahler möglichst verschiedener Farbtemperaturen F_1 und F_2 gleicht man so gegeneinander ab, daß sie bei Betrachtung durch das zu untersuchende Lichtfilter gleich hell erscheinen. Es gilt dann, wenn diese beiden Helligkeiten im Anschluß an Gl. 5) mit $H_1'(\lambda, T_1) = p_1 \cdot H(\lambda, F_1)$ und $H_2'(\lambda, T_2) = p_2 \cdot H(\lambda, F_2)$ bezeichnet werden, $p_2 : p_1 = H(\lambda, F_1) : H(\lambda, F_2)$ und mit Rücksicht auf Gl. 11)

$$\ln \frac{p_2}{p_1} = \ln \frac{H(\lambda, F_1)}{H(\lambda, F_2)} = \frac{c}{\lambda_{F_1, F_2}}\left(\frac{1}{F_2} - \frac{1}{F_1}\right). \qquad 23)$$

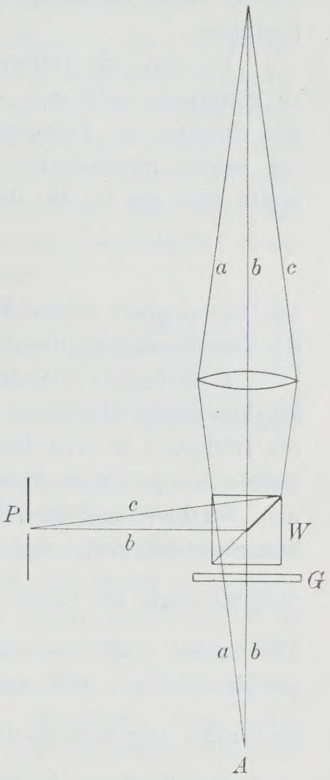
Die spektralen Helligkeiten h_1' und h_2' der beiden Strahler sind im allgemeinen ungleich und wenn man die spektralen Helligkeiten als Funktion der Wellenlänge aufträgt, so erhält man zwei Kurven, die sich in einem Punkt schneiden. Für die diesem Schnittpunkt zugehörige Wellenlänge λ' sind die spektralen Helligkeiten beider Strahler $h_1'(\lambda', T_1) = p_1 \cdot h(\lambda', F_1)$ und $h_2'(\lambda', T_2) = p_2 \cdot h(\lambda', F_2)$ einander gleich. Somit gilt für diese ausgezeichnete Wellenlänge $p_2 : p_1 = h(\lambda', F_1) : h(\lambda', F_2)$ und man erhält mit Gl. 12a)

$$\ln \frac{p_2}{p_1} = \ln \frac{h(\lambda', F_1)}{h(\lambda', F_2)} = \frac{c}{\lambda'}\left(\frac{1}{F_2} - \frac{1}{F_1}\right). \qquad 24)$$

Der Vergleich von Gl. 23) und Gl. 24) lehrt, daß die gesuchte effektive Wellenlänge $\lambda_{F_1, F_2} = \lambda'$ ist.

Um die Wellenlänge λ' auf experimentellem Wege zu gewinnen, wird in das Okular eines Farbglaspyrometers ein aus zwei Prismen zusammengesetzter Würfel W eingebaut, deren gemeinsame Grenzfläche zur Hälfte versilbert ist, so daß die Hälfte ab des Strahlenbündels (vergl. die Figur) abc entsprechend dem gewöhnlichen Strahlengang nach dem Passieren des Farbglases G ins Auge bei A gelangt, während die

andere Hälfte bc auf den Spalt P eines Spektrographen fällt. Hier entsteht ein reelles Bild des Strahlers und des Glühfadens der Pyrometerlampe. Man stellt nun in der üblichen Weise mit dem Pyrometer auf optisches Gleichgewicht ein und photographiert dann die Spektren des Strahlers und des Glühfadens. Würden beide Lichtquellen gleiche Farbtemperatur und somit bei optischem Gleichgewicht in allen Farben gleiche Intensität besitzen, so würden sich auch die sichtbaren Teile ihrer Spektren in keiner Weise unterscheiden. Haben beide aber verschiedene Farbtemperaturen, so daß das Intensitätsverhältnis beider Lichtquellen von Wellenlänge zu Wellenlänge wechselt, so muß in einem Teil des Spektrums das strahlende Objekt, im übrigen Spektrum der Glühfaden heller erscheinen. Die Wellenlänge, welche beide Gebiete scheidet, ist die gesuchte. Sie ist um so schärfer bestimmbar, je verschiedener die Farbtemperaturen beider Strahler sind. — Eine Lichtquelle, deren Farbtemperatur von derjenigen des Glühfadens bei gleicher Helligkeit sehr verschieden ist, stellt z. B. das auf einem weißen Schirm mittels einer Linse entworfene Bild eines stark glühenden Wolframbandes oder eine von der Rückseite durch eine Glühlampe erleuchtete Mattglasscheibe dar. Zu bemerken ist noch, daß die beschriebene Methode in der Bezeichnungsweise der Ziffer 3 (letzter Absatz) nicht die eigentlich gesuchte Wellenlänge $\lambda_{F,T} = \lambda_{1,2}$, sondern die hiervon nicht sehr verschiedene Wellenlänge $\lambda_{1,p}$ liefert.



Die Methode von de Groot läßt sich vereinfachen, wenn man das früher[1]) in dieser Zeitschrift beschriebene Spektralpyrometer so abändert, daß das Instrument bei derselben Stellung der Pyrometerlampe beliebig als Spektralpyrometer und Farbglaspyrometer verwendet werden kann. Dann hat man zunächst in der Anordnung des Farbglaspyrometers den Heizstrom des Glühfadens auf optisches Gleichgewicht mit einem Strahler möglichst hoher Farbtemperatur einzustellen und sodann in der Anordnung des Spektralpyrometers die Wellenlänge aufzusuchen, bei der für ungeänderte Heizstromstärke des Glühfadens wieder optisches Gleichgewicht eintritt. Diese Wellenlänge ist dann die oben mit λ' bezeichnete.

c) aus der Differenz effektiver Wellenlängen. Bisweilen ist es nützlich, den Unterschied der effektiven Wellenlängen zweier Farbgläser zu bestimmen, besonders wenn die effektive Wellenlänge des einen Farbglases bereits bekannt ist. Hierfür kann man sich einer einfachen Methode bedienen, wenn man über ein Farbglaspyrometer verfügt, dessen Pyrometerlampe bei einer bestimmten Wellenlänge λ_0 geeicht ist, derart, daß die Funktion $f(i)$ des Glühfadenstromes i bei dieser Wellenlänge mit der zugehörigen schwarzen Temperatur $S(\lambda_0)$ eines beliebigen Strahlers (mit dem sich der Glühfaden in optischem Gleichgewicht befindet) in der Beziehung $f(i) = \frac{1}{S(\lambda_0)}$ steht. Führt man die Beobachtung nicht bei der Wellenlänge λ_0, sondern bei der Wellenlänge λ und unter Verwendung einer Lichtschwächung von der Durch-

[1]) F. Henning, *Diese Zeitschr.* **30.** *S. 61—75. 1910.*

lässigkeit D aus, so gilt, wenn man noch zugleich nach Gl. 8) die schwarze Temperatur S_λ durch die Farbtemperatur F ersetzt[1]),

$$\frac{1}{F} = f(i) + \lambda \cdot \left[\frac{\ln D}{c} + \xi - \zeta\right] - \lambda_0 \xi. \tag{25}$$

Die in dieser Gleichung auftretende Größe ξ ist durch die Selektivität des Glühfadens bestimmt.

Um nun die Differenz der effektiven Wellenlängen λ_1 und λ_2 zweier Lichtfilter zu gewinnen, stellt man das Pyrometer unter Verwendung der beiden Lichtfilter auf den Strahler der Farbtemperatur F und erhält im Falle des optischen Gleichgewichts die beiden Stromstärken i_1 und i_2. Für den Unterschied der beiden Wellenlängen ergibt sich aus Gl. 25) dann

$$\lambda_2 - \lambda_1 = \frac{f(i_1) - f(i_2)}{\frac{\ln D}{c} + \xi - \zeta}. \tag{26}$$

Die Genauigkeit dieses Verfahrens ist um so größer, je größer $\ln D$ oder je kleiner die Durchlässigkeit der verwendeten Lichtschwächung gewählt wird.

6. Effektive Wellenlänge und Lichtschwächung. Um die Temperatur von Strahler großer Helligkeit zu bestimmen, bedient man sich der Lichtschwächungen, die die Helligkeit so weit heruntersetzen, daß ein Vergleich mit der Helligkeit des Glühfadens der geeichten Pyrometerlampe möglich ist. Die Lichtschwächung wird zwischen dem Strahler und dem Glühfaden angeordnet und bewirkt im allgemeinen eine Veränderung der Farbe des vom Strahler herrührenden Lichtes. Demgemäß muß in Gl. 19) und 20) statt der Größe $\frac{1}{F}$ eine andere Größe $\frac{1}{F'} = \frac{1}{F} + \eta$ eingesetzt werden. Das Zusatzglied η läßt sich auf experimentellem Wege bestimmen. Wendet man Gl. 12) auf den Fall an, daß man denselben Strahler sowohl mit der Lichtschwächung der spektralen Durchlässigkeit $\psi(\lambda) = \frac{h_2'}{h_1'}$ als auch ohne diese Lichtschwächung betrachtet und wird in diesen beiden Fällen die zu dieser Wellenlänge gehörige schwarze Temperatur mit S' und S bezeichnet, so erhält man

$$\frac{1}{S'} = \frac{1}{S} - \frac{\lambda}{c} \ln \psi(\lambda). \tag{27}$$

Innerhalb eines verhältnismäßig engen Spektralbezirks, wie er etwa durch das Schottsche Rotfilter und die Empfindlichkeitsgrenze des Auges bestimmt ist, darf man erfahrungsgemäß

$$\frac{\lambda}{c} \ln \psi(\lambda) = \lambda \cdot Q - \eta \tag{28}$$

setzen, d. h. den Logarithmus der Durchlässigkeit in einen von der Wellenlänge abhängigen und einen von ihr unabhängigen Teil zerlegen. Unter gleichzeitiger Berücksichtigung von Gl. 8) und 28) folgt dann aus Gl. 27)

$$\frac{1}{S'} = \frac{1}{F} + \eta + \lambda(\zeta - Q) \tag{29}$$

und hiermit nach Vergleich mit Gl. 8) die oben genannte Beziehung zwischen F und F'. Die Größe η ist nach Gl. 28) aus der specktralen Durchlässigkeit zu bestimmen. Es ist $\eta = 0$, wenn die spektrale Durchlässigkeit der Schwächungsvorrichtung unabhängig von der Wellenlänge λ ist, wie dies z. B. für den Fall eines rotierenden Sektors zutrifft. Für ein 4 mm dickes Stück des bekannten Schottschen Rauchglases der Schmelze 12554 ergab sich im roten Licht ($\lambda = 0{,}656\ \mu$ $\eta = 1430 \cdot 10^{-7}$ und im grünen Licht ($\lambda = 0{,}545\ \mu$) $\eta = 500 \cdot 10^{-7}$.

---

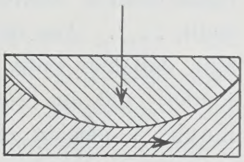
[1]) F. Henning und W. Heuse, *Zeitschr. f. Phys.* **32.** S. 799—822. 1925.

Ein einfaches Polariskop.

Von
Dr. **H. Schulz** in Berlin-Lichterfelde.
(Mitteilung aus der Optischen Anst. C. P. Goerz A.-G. in Berlin-Zehlendorf.)

Die bekannteste und auch heute noch vorwiegend benutzte Form des Polariskops besteht aus einer Savartschen Doppelplatte und einem Polarisationsprisma als Analysator, wobei die Teile der Savartschen Platte je nach den besonderen Bedingungen, unter denen die Beobachtung stattfinden soll, aus Quarz oder Kalkspat bestehen und die Streifenabstände durch die Wahl der Plattendicke noch beeinflußt werden können.

Die vereinfachte Form des Polariskops ist im Schnitt in der Figur dargestellt. Sie besteht aus je einer plankonvexen und einer plankonkaven Linse aus Kalkspat (oder einem andern geeigneten Kristall), deren Krümmungsradien entgegengesetzt gleich sind, so daß sie zusammen eine planparallele Platte darstellen. Bei einer der Linsen ist die Kristallachse parallel zur Linsenachse, bei der andern senkrecht (in der Figur durch Pfeile angedeutet). Letztere ist dem Auge zugekehrt und wirkt als Analysator, während beim Durchgang der verschieden geneigten Strahlenbündel durch die erste Linse das Achsenbild des Kristalles erzeugt wird.



Wie eine leichte Überlegung zeigt, entsteht das dem ordentlichen Bündel in der zweiten Linse zugeordnete Achsenbild im Unendlichen, da wegen der Gleichheit der Brechungszahlen in beiden Linsen für den ordentlichen Strahl die Platte wenigstens für Strahlenbündel geringer Neigung afokal ist, während das außerordentliche Bild je nach der Krümmung der Mittelfläche in endlicher Entfernung vor oder hinter der Linse entsteht. Es kann also nicht gleichzeitig mit der anvisierten Fläche scharf gesehen werden und entzieht sich daher der Wahrnehmung, besonders, wenn man durch geeignete Wahl des Krümmungsradius der Kittfläche und geeigneten Abstand der Platte vom Auge des Beobachters das Achsenbild in der Augenpupille entwirft. Dieses ist ohne Schwierigkeit möglich, da die Brennweite f für den außerordentlichen Strahl bei Vernachlässigung der Mitteldicken in der Form

$$f = \frac{r}{n_0 - n_e} = \frac{r}{0{,}172}$$

sich ergibt, also z. B. für $r = 10$ mm eine Brennweite $f = 58{,}2$ mm folgt, mithin die Platte etwa 55 mm vor dem Auge anzuordnen wäre.

Fällt natürliches Licht auf die Platte, so tritt das Achsenbild nicht auf, während bei geringer Beimischung von polarisiertem Licht die farbigen Ringe deutlich hervortreten. Bei Bestimmung der Hauptschwingungsrichtung ist es nur erforderlich, das System um seine Achse zu drehen und auf die Intensitätsänderung in der Mitte zu achten. Zeigt sich in der Mitte ein schwarzes Kreuz, ist also das Achsenbild so, wie es sich zwischen gekreuzten Nicols darbietet, so ist die Schwingungsrichtung der stärksten Komponente parallel zur Kristallachse in der dem Auge zugekehrten Linse; tritt das weiße Kreuz auf, dann ist die Schwingungsrichtung der stärkeren Komponente senkrecht zum Hauptschnitt, den man auf der Fassung anzeichnen kann.

Der Helligkeitsgewinn gegenüber der vorerwähnten Savartschen Anordnung mit Analysatornicol ist auf etwa $40\,^0/_0$ zu veranschlagen, so daß das kleine Instrument auch bei geringer Helligkeit gut zu gebrauchen ist.

Über die Zuverlässigkeit der Angaben von Registrierphotometern mit Photozellen.

Erwiderung auf die Bemerkung des Herrn Koch[1]).

In der erwähnten Bemerkung des Herrn Koch scheint dieser aus meinen Ergebnissen[2]) ein Mißtrauensvotum gegen die mit seinem registrierenden Mikrophotometer[3]) erzielten photometrischen Ergebnisse herausgelesen zu haben. Eine solche Absicht lag mir vollständig fern, um so mehr als mir persönliche Erfahrungen mit seinem Instrumente fehlen, und erklärt sich teilweise als ein Mißverständnis. Ich habe geschrieben: „Der ganze Ermüdungsvorgang, der auch in der Kochschen Anordnung (nicht wie Herr Koch zitiert, auch für das erstmals im Jahre 1912 beschriebene registrierende Mikrophotometer) eine nicht zu vernachlässigende Fehlerquelle darstellt, . . .“. Aus dem Zusammenhang ergibt sich durch Vergleichung mit S. 315 und 320, daß hier unter „Kochsche Anordnung“ nicht das Kochsche Mikrophotometer, sondern die an Stelle des früher von mir verwandten Ableitungswiderstandes nach Kochs Vorschlag eingeführte Kompensationszelle zu verstehen ist, daß also die gemessenen Ermüdungs- und Erholungseinflüsse sich zunächst nur auf mein Elektro-Mikrophotometer beziehen.

Daß nach meiner Ansicht diese an meinem Instrument abgeleitete Fehlerquelle aber auch für die nach dem gleichen Schaltungsschema arbeitenden photoelektrischen Mikrophotometer registrierender Art von Bedeutung ist, geht aus dem einige Zeilen vor der zitierten Stelle stehenden Satz in meiner Abhandlung hervor, dem ich die folgende einschränkende Form gab: „Bei Instrumenten mit fortlaufender Registrierung können die partiellen Ermüdungs- und Erholungsvorgänge unter Umständen erhebliche Fehler verursachen.“

An dieser Anschauung ändern auch die Feststellungen des Herrn Koch nichts, weil aus ihnen doch zunächst nur die Tatsache hervorgeht, daß bei seinen Messungen diese Umstände nicht störend in Erscheinung getreten sind, da die photometrische Unsicherheit sich in allen Fällen innerhalb der angestrebten Genauigkeit von $1^0/_0$ gehalten hat.

Der Hinweis, daß die von mir gefundenen Ermüdungserscheinungen unter Umständen die Ergebnisse photoelektrischer Registrierungen in merklicher Weise affizieren können, war aber um so berechtigter, als die Konstruktion des Kochschen Instrumentes bereits vor Bekanntwerden der Ermüdungsvorgänge in Photozellen erfolgt, eine Untersuchung dieses Einflusses auf Registrierungsresultate meines Wissens bisher nirgends veröffentlicht worden ist, und andererseits nach Mitteilung verschiedener anderer Beobachter weder in allen Fällen eine reproduzierbare photometrische Genauigkeit von $1^0/_0$ erreicht wurde, noch jede einzelne unter dem Mikroskop erkennbare Feinheit — z. B. bei der Aufspaltung von Spektrallinien — in den Registrierphotogrammen wiedergefunden werden konnte.

Die Erklärung, welche Herr Koch für die von mir festgestellten „Unstimmigkeiten“ heranzieht, scheint mir den Kern der Frage nur zum Teil zu treffen. Zunächst glaube ich in meinen Untersuchungen über die Ermüdungserscheinungen[4])

[1]) *Diese Zeitschr.* ***45.*** *S. 494. 1925.*

[2]) *Diese Zeitschr.* ***45.*** *S. 313. 1925.*

[3]) *Wied. Ann.* ***39.*** *S. 705. 1912* und *diese Zeitschr.* ***41.*** *S. 313. 1921.*

[4]) *Zeitschr. für Phys.* ***7.*** *S. 61. 1921.*

gezeigt zu haben, daß die Photozellen auch in der Nähe des Entladungspotentials durchaus nicht „unzuverlässig" arbeiten, sondern bei richtiger Behandlung gerade hier die denkbar höchste Messungsgenauigkeit gewährleisten, so daß man wohl kaum von „schlechten" Erfahrungen zu sprechen berechtigt ist. Was ferner die Ermüdungsvorgänge selbst angeht, so nehmen diese allerdings mit Annäherung an das Entladungspotential rasch zu; sie sind aber noch in weitem Abstand von der Glimmspannung sehr merkbar[1]), solange nur die Bedingungen für das Zustandekommen der Stoßionisation gegeben sind, und lassen sich sogar unter dieser Grenze noch nachweisen, wie schon aus der Tatsache hervorgeht, daß ich bei meinen letzten Untersuchungen ihren Einfluß nicht nur für die Meßzelle, sondern auch für die Kompensationszelle[2]) gefunden habe, deren Feld noch unterhalb 1 Volt lag. Der Effekt ist in diesem letzteren Falle allerdings so klein, daß er auch in extremen Fällen unter der Meßgenauigkeit von 1 % bleibt.

In jedem Falle scheint mir der Hinweis auf die Möglichkeit einer Verfälschung photoelektrischer Registrierergebnisse durch Ermüdungs- und Erholungserscheinungen auch jetzt noch nicht überflüssig zu sein, da nicht alle Benutzer der Kochschen Apparatur über die gleiche, große Erfahrung mit Photozellen verfügen dürften, wie Herr Koch selbst, und das Instrument unter Bedingungen benutzen könnten, für welche die erwähnten Fehlerquellen sich nicht mehr innerhalb der angestrebten Genauigkeit halten.

Tübingen, den 26. Oktober 1925.

H. Rosenberg.

Referate.

Preßluftmesser.

Nach einer Mitteilung der Deutschen Maschinenfabrik A.-G. in Duisburg.

Zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit von Preßluftwerkzeugen aller Art, insbesondere der weitverbreiteten Gesteinsbohrhämmer, Meißel und Niethämmer und für die Betriebsüberwachung ist es nötig, ein Meßgerät zu besitzen, das den Luftverbrauch zuverlässig anzeigt. Dies ist deswegen von besonderer Bedeutung, weil die Preßluftwerkzeuge auch bei sachgemäßer Behandlung einem verhältnismäßig hohen natürlichen Verschleiß ausgesetzt sind, namentlich am Schlagkolben und den Steuerungsteilen. Die kurzhubigen schnellschlagenden Werkzeuge sind besonders scharf zu beobachten, da der Luftverbrauch bei ihnen durch Verschleiß stärker und rascher gesteigert wird, als es z. B. bei den langhubigen langsamer schlagenden Maschinen der Fall ist. In dieser Beziehung verhalten sich die einzelnen Konstruktionen sehr verschieden. Die Erfahrung beweist, daß sämtliche Preßluftwerkzeuge nach längerem angestrengten Betrieb beträchtlich mehr Preßluft verbrauchen, als im Anfang ihrer Benutzung. Geschieht die Ausbesserung nicht rechtzeitig, so wächst der Mehrverbrauch an Preßluft dauernd, bis das Aufhören des exakten Arbeitens des Werkzeuges einer Weiterbenutzung ein Ende macht.

Zur Überwachung der Wirtschaftlichkeit von Preßluftwerkzeugen gehört also die rechtzeitige Vornahme der nötigen Reparaturen und beim Überschreiten eines gewissen Luftverbrauchs die Auswechslung des unwirtschaftlich arbeitenden Werkzeugs. Ein unentbehrliches Hilfsmittel dafür ist ein Luftmesser, der möglichst den Luftverbrauch sofort in Kubikmeter angesaugter Luft pro Minute anzeigt, bei dem also besondere Zeitmessungen nicht vorgenommen zu werden brauchen.

---

[1]) Die Ermüdungserscheinungen an der Meßzelle meines Elektromikrophotometers wurden bei einem Potential von 10 bis 20 Volt unter der Glimmspannung erhalten. Vgl. auch F. W. Goetz, *Verhandl. d. Schweiz. naturforsch. Ges. Luzern. 1924. II. Teil. S. 109.*

[2]) *Diese Zeitschr.* **45.** *S. 322/323. 1925.*

Der Demag-Luftmesser, System Heinrichs, beruht auf dem Prinzip der sogenannten Luxschen Fliege und besteht im wesentlichen aus einem kegeligen, sich nach oben erweiternden geeichten Metallrohr mit Schauglas (Fig. 1 und 2), das dauernd oder zeitweilig in die Preßluftleitung, zwischen Kompressor und Werkzeug eingeschaltet wird. Der Luftmesser wird für Luftmengen von 1,5 bis 5 cbm Ansaugeluft in der Minute gebaut. Da er bei großer Einfachheit keine empfindlichen Teile aufweist, leistet er Gewähr für lange Lebensdauer und zuverlässiges Arbeiten.

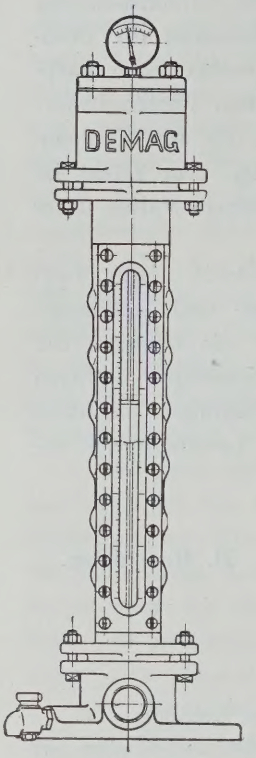


Fig. 1.

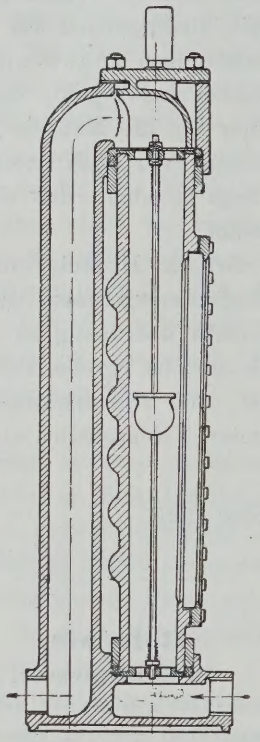


Fig. 2.

Die Luft tritt unter konstantem Druck durch die Einlaßöffnung in das Rohr, das auf einem Ringansatz des Gehäuses ruht und gegen dieses durch eine Stopfbüchse mit Gummiring abgedichtet ist, und treibt den auf einer Metallstange gleitenden Aluminiumschwimmer nach oben. Je nach der Menge der den Luftmesser durchströmenden Luft bleibt der Schwimmer in einer bestimmten Höhenlage stehen. Die an dem Metallrohr angebrachte Teilung gestattet für einen Betriebsdruck von 6 at Überdruck die, der durchströmenden Druckluftmenge entsprechende, angesaugte Luftmenge von atmosphärischer Spannung in Kubikmeter in der Minute unmittelbar abzulesen. Die Genauigkeit des Preßluftmessers liegt in den Grenzen $\pm 1\,^0/_0$. Die höchste Stellung des Schwimmers wird durch eine Feder begrenzt. Von dort aus wird die Luft durch das Gehäuse dem Ausgangsstutzen zugeführt und von hier aus dem zu untersuchenden Werkzeug. Der Schwimmer wird durch den zur Erzeugung der größeren Luftgeschwindigkeit zwischen Schwimmer und Wandung bedingten Druckverlust um so höher getrieben, je größer die durchströmende Luftmenge in der Zeiteinheit ist.

Unter der Voraussetzung kleiner Druckunterschiede zwischen der engsten Stelle und unterhalb des Schwimmers ist die Auftriebskraft für die Flächeneinheit

$$\Delta p = C \cdot \gamma_1 \cdot v_1^2,$$

wobei γ_1 das spezifische Gewicht der Luft und v_1 die Luftgeschwindigkeit bedeuten. C ist eine Konstante, die von der Lage des Schwimmers abhängig ist. Hebt ein Gas von dem spezifischen Gewicht γ_2 und der Geschwindigkeit v_2 den Schwimmer auf die gleiche Fläche, d. h. die Auftriebskraft ist in beiden Fällen gleich, dann ist

$$\Delta p = C \cdot \gamma_2 \cdot v_2^2 .$$

Aus beiden Gleichungen ergibt sich

$$\gamma_1 \cdot v_1^2 = \gamma_2 \cdot v_2^2,$$

woraus wiederum erfolgt:

$$\frac{v_1^2}{v_2^2} = \frac{\gamma_2}{\gamma_1} \quad \text{bzw.} \quad \frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{\gamma_2}{\gamma_1}},$$

d. h. bei gleichem Schwimmerstande verhalten sich die Geschwindigkeiten der durchströmenden Luft umgekehrt wie die Quadratwurzeln aus den spezifischen Gewichten. Ist also die Durchströmungsgeschwindigkeit eines Gases von bestimmter Dichte bekannt, so läßt sich daraus diejenige eines Gases von anderer bekannter Dichte berechnen.

Bekanntlich ist das spezifische Gewicht eines Gases bei gleicher Temperatur direkt proportional dem absoluten Druck, unter dem es steht. Man erhält dann für die Auftriebskraft des Gases für die Flächeneinheit gegen die Schwere des Schwimmers für die beiden Drucke p_1 bzw. p_2:

$$p = k \cdot p_1 \cdot v_1^2, \qquad p = k \cdot p_2 \cdot v_2^2,$$

woraus folgt:

$$v_2 = v_1 \cdot \sqrt{\frac{p_1}{p_2}}.$$

Strömt durch den Luftmesser bei dem Druck p_1 das Volumen V_1 und bei dem Druck p_2 das Volumen V_2, so gelten bei gleicher Schwimmerlage die Kontinuitätsgleichungen:

$$V_1 = F v_1, \qquad V_2 = F v_2,$$

wobei F der Durchströmungsquerschnitt ist. Mithin gilt die Beziehung:

$$V_2 = V_1 \sqrt{\frac{p_1}{p_2}},$$

d. h. bei gleichem Schwimmerstande verhalten sich die Volumen wie die Wurzeln aus den absoluten Drucken.

Die Rohrskala des Preßluftmessers ist für einen Betriebsdruck von 6 at (7 at abs.) für verschiedene Schwimmerstellungen geeicht. Die Berechnung für z. B. 8 at Überdruck geschieht dann folgendermaßen:

In der Formel

$$p_1 \cdot V_1^2 = p_2 \cdot V_2^2$$

bedeutet p_1 den Druck von 7 at (= 6 at Überdruck) und p_2 den Druck von 9 at (= 8 at Überdruck). Die Gleichung

$$V_2 = V_1 \sqrt{\frac{p_1}{p_2}}$$

ist, da die auf dem Metallrohr des Luftmessers angebrachte Teilung für $p_1 = 7$ at abs. auf Atmosphärendruck bezogen ist, mit $\frac{p_2}{p_1}$ zu multiplizieren, so daß wir erhalten:

$$V_2 = V_1 \cdot \frac{p_2}{p_1} \sqrt{\frac{p_1}{p_2}} = V_2 \sqrt{\frac{p_2^2 \cdot p_1}{p_1^2 \cdot p_2}} = V_1 \sqrt{\frac{p_2}{p_1}}$$

$$V_2 = V_1 \sqrt{\tfrac{9}{7}} = 1{,}134\, V_1.$$

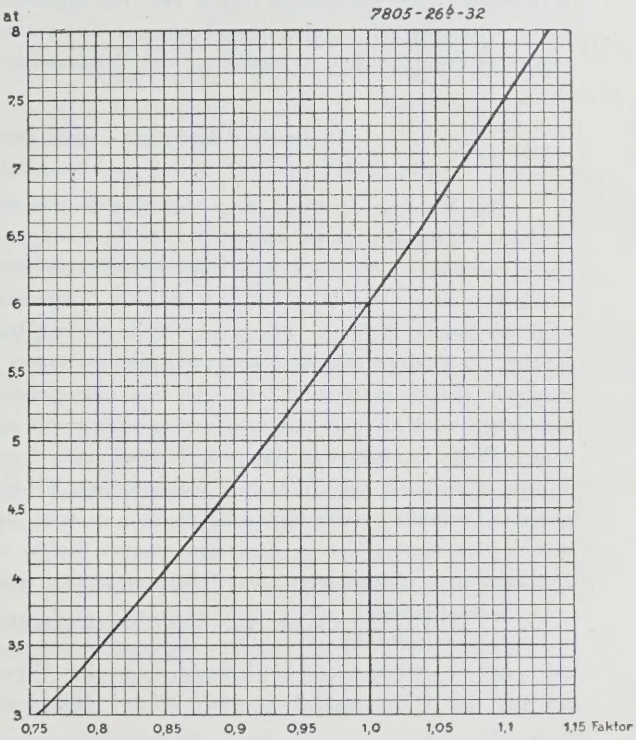


Fig. 3.

Mit diesem Faktor ist die vom Apparat angezeigte Luftmenge zu multiplizieren, um das Volumen bei 8 at Überdruck, bezogen auf angesaugte Luft, zu erhalten. Mit Hilfe eines Rechenschiebers ist diese Rechnung bequem auszuführen. Eine dem Luftmesser beigegebene Kurventafel (Fig. 3) ermöglicht sofort die Bestimmung des Faktors von V_1, so daß jeder geschickte Arbeiter in der Lage ist, sein Werkzeug selbst zu püfen. Für eine am Messer abgelesene Luftmenge von 0,9 cbm/min bei einem Luftdruck von 5,2 at ergibt sich ein Wert des Faktors von V_1 zu 0,94. Die minutlich verbrauchte Luftmenge vor Ansaugespannung ist somit

$$0{,}94 \cdot 0{,}9 = 0{,}846 \text{ cbm.}$$

Eine schnell arbeitende Torsionswage.

Von C. M. Eden *und* H. W. B. Gardiner. *(Aus dem Laboratorium der General Electric Company.)*
Journ. of scientif. instrum. **2.** *S. 119. 1925.*

Die hier beschriebene Torsionswage ist in erster Linie zum Wägen und Sortieren der Glühfäden von gasgefüllten Glühlampen bestimmt. Sie besteht im wesentlichen aus einem horizontal

ausgespannten Phosphorbronzedraht von etwa 11 cm Länge und 0,13 mm Dicke, der durch eine Feder gespannt gehalten wird. Etwa auf seiner Mitte sitzt eine sehr leichte Aluminiumscheibe, mit ihrer Ebene senkrecht zur Drahtachse, in Rahmenform, so daß ihre Hauptmasse oberhalb des Drahtes liegt. Durch diese Methode allein, d. h. also durch ein umgekehrtes Pendel, war es möglich, die notwendige Empfindlichkeit zu erhalten. Diese Scheibe bewegt sich in einem engen Schlitz zwischen zwei Stahlmagneten, wodurch die geeignete Dämpfung erzielt wird. Der Rahmen trägt auch gleichzeitig ein Stäbchen mit Haken zum Anhängen der Federn und der Zeiger. Dieser selbst wird nicht direkt abgelesen, sondern durch ein Projektionssystem mit Glühlampenbeleuchtung auf einen Schirm geworfen, der die Skala trägt. Die Vergrößerung ist dabei etwa 10 fach. Die Skala selbst umfaßt nur ein Bereich von $\pm$ 4 mg bei Einteilung in 0,1 mg, während die Höchstlast der Wage 70 mg beträgt. Um das volle Meßbereich ausnützen zu können, ist daher eine Vortorsion des Drahtes notwendig, die so erreicht wird, daß das eine Ende von ihm drehbar gelagert ist. Am Drehpunkt greift seitlich ein Hebel an, dessen freies Ende auf einer Spiralführung ruht, die durch einen Knopf gedreht werden kann. Bei der Untersuchung stellte sich heraus, daß die Ableseskala nicht für kleine und große Zahlen gleichzeitig richtig war, ein Ergebnis, das sich auch rechnerisch begründen läßt.

Grundsätzlich ist also diese Form nur eine praktisch vervollkommnete Form der Nernst-Wage mit einer veränderlichen Verspannung des Torsionsfadens zur Erweiterung des Meßbereichs.

Block.

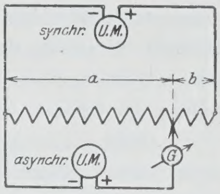
Über Schlüpfungs- und Drehzahlmessungen.

Von R. Vieweg *und* H. E. Linckh. *Elektrot. Zeitschr.* **46.** *S. 1107. 1925.*

Zur Messung der Schlüpfung von Asynchron-Motoren wird im allgemeinen die stroboskopische Methode verwendet. Diese versagt jedoch bei Schlüpfungsbeträgen von über 6—8 vH, wie sie mitunter vorkommen, da die Rotationsgeschwindigkeit des stroboskopischen Bildes dann zu groß wird, außerdem hat sie den Nachteil, daß sie keine Augenblickswerte gibt, sondern nur Mittelwerte über eine bestimmte Meßzeit. Für solche Fälle finden besser 2 Unipolarmaschinen Verwendung, die infolge des Fehlens störender Spannungsschwankungen infolge Kollektor und Bürsten und vernachlässigbar kleinen inneren Widerstands eine sehr genaue Messung ermöglichen. Von den Unipolarmaschinen wird die eine mit dem Versuchsmotor, die andere mit dem Generator mittels einer biegsamen Welle in bequemer Weise gekuppelt und ihre Anker gegeneinander geschaltet. Sind die Unipolarmaschinen mit Hilfe ihrer magnetischen Nebenschlüsse vorher so abgestimmt, daß sie bei gleicher Drehzahl gleiche Spannung liefern, so wird die in Gegenschaltung mittels eines Millivoltmeters gemessene Differenz ihrer Spannungen wegen der Verhältnisgleichheit von Spannung und Drehzahl den Schlupftouren des Asynchronmotors entsprechen. Zur Ermittelung der Schlüpfung $= \frac{\text{Schlupftouren}}{\text{synchrone Drehzahl}}$ muß dann noch die konstante Spannung der mit dem Synchrongenerator gekuppelten Unipolarmaschine bekannt sein. Bei Verwendung einer Kompensationsschaltung, wie sie aus der Figur ersichtlich wird, ist bei Stromlosigkeit des Galvanometers G die Schlüpfung $s = \frac{b}{a+b}$. Bei passender Wahl des Widerstandes $a + b$ kann man dann erreichen, daß die Schlüpfung numerisch gleich dem Widerstand b wird. Im Gegensatz zu der Voltmeterschaltung mißt man hierbei also nicht die Schlupftouren, sondern direkt die Schlüpfung.

Mit Hilfe der Unipolarmaschinen lassen sich noch 0,05 vH Schlüpfung sicher messen. Eine experimentelle Bestätigung dieser Genauigkeit wurde erbracht durch gleichzeitige Anwendung der 3 Meßverfahren, nämlich der Voltmeter-Methode, der Kompensationsmethode und der stroboskopischen Methode, bei Schlüpfungsmessungen an einem Drehstrom-Asynchronmotor. Um für die drei Verfahren einwandfreie und gleichwertige Verhältnisse zu schaffen, wurde dabei die Frequenz auf etwa 0,2 $^0/_{00}$ mit Hilfe einer Stimmgabel konstant gehalten. Diese Verwendbarkeit der Stimmgabel als sehr bequemes und genaues Hilfsmittel bei Frequenz- und Drehzahlmessungen wird weiterhin erläutert. Mitunter wird es Schwierigkeiten bereiten, sich eine in der Frequenz regelbare Spannung für die im übrigen wegen der leichteren Beobachtbarkeit vorzuziehende Glimmlampe zu verschaffen. In solchen Fällen können Drehzahl- und Schlüpfungsmessungen sogar nur mit einer Stimmgabel in Verbindung mit einer stroboskopischen Scheibe ausgeführt werden. Da die stroboskopische Methode

vollkommen verlustfrei ist, hat sie besonders für Messungen an Kleinmotoren und für gewisse Einzelverlustmessungen große Bedeutung. Als Beispiel ist die, einmal stroboskopisch, das andere Mal mit einer Unipolarmaschine aufgenommene Auslaufkurve eines Motors wiedergegeben, die beachtliche Unterschiede in den Auslaufzeiten zeigt. Im allgemeinen jedoch dürfte die Reibungsarbeit der Unipolarmaschine keine nennenswerte Störung der Messungen hervorrufen. Als Energieverbrauch wurden im Mittel für eine Unipolarmaschine folgende Werte gefunden:



Drehzahl	500	1000	1500	2000	3000	Uml./Min.
Leistungsverbrauch	0,5	1,5	3	7	19	Watt

Dieser Leistungsverbrauch ist so gut wie ausschließlich durch die Reibung in den Lagern und dem Vorgelege der Unipolarmaschine verursacht, da die Spannung nur 20 mV für je 1000 Uml./Min. beträgt, die elektrische Leistung also wegen des außerordentlich kleinen inneren Widerstands der Maschine praktisch zu vernachlässigen ist.

Es möge hier noch nachgetragen werden, was in der Arbeit nicht erwähnt wurde, daß die Unipolarmaschine auch als Motor arbeiten kann. Legt man an die Klemmen der Maschine geringe Spannung an und verkleinert die Reibung durch Wegnahme des Vorgeleges, so beginnt der Anker sich zu drehen. Bei etwa 10 mV Spannung beträgt jedoch die Stromaufnahme bereits 15 A, so daß wegen der eintretenden Zersetzung des Quecksilbers in den Stromabnahmekontakten des Ankers eine weitere Stromsteigerung nicht ratsam ist und eine praktische Verwendung dieser Ausführung der Unipolarmaschine als Motor daher nicht in Frage kommt. *Lh.*

Der Chronometer-Kongreß.

Von Leopold Reverchon. *L'Astronomie* ***38.*** *S. 41. 1924.*

Auf der Pariser Sternwarte fand anläßlich der Hundertjahrfeier des Todestages Abraham Louis Breguets und in Zusammenhang mit der Bildung des französischen Ausschusses, der den Kern einer im Rahmen des „Internationalen Ausschusses für wissenschaftliche Untersuchungen" arbeitenden Chronometer-Union darstellt, ein Kongreß für Chronometrie unter dem Vorsitz der Herren Baillaud, General Sebert und Bigourdan statt. Die Teilnehmer gliederten sich in sechs Gruppen: Internationaler Zeitdienst, drahtlose Telegraphie und Stundenzeichen; neue Fortschritte der Chronometrie; Chronometer-Regulierung und Wettbewerb; Beobachtungs-Instrumente; elektrische Uhren; Unterricht und Werkstatt.

Es sprachen Andrade (Besançon) über die gegenwärtigen Probleme der Chronometerregelung und des Isochronismus, sowie über den Nutzen beweglicher Figuren für den Unterricht in der Geometrie; Guillet (Paris, Sorbonne) über Biegungsschwingungen, Synchronisierung kreisförmiger Bewegungen und Kinematographie periodischer Bewegungen, unter Vorführung von Apparaten aus den Lepauteschen Werkstätten; Arcay (Besançon) über die Moulinsche Theorie der flachen Spirale und über neue Unterrichtsmethoden in Uhrmacherschulen; Féry (Paris) über die Vorteile elektrischer Uhren; Lavet über theoretische uud technische Fragen zum Betrieb elektrischer Uhren, bssonders der von den Hatotschen Werkstätten hergestellten mit kurzem Pendel; Albaret über eine elektrische Uhr aus den Leroyschen Werkstätten; Lecarme über Gangänderungen in großen Höhen, nach Versuchen auf dem Observatorium des Montblanc; Maillard-Salin über Temperaturregelung von Taschenuhren mit Elinvar-Spiralen; Guillaume (Paris) über Entstehungsgeschichicbte und Eigenschaften der drei von ihm eingeführten Legierungen: Invar für Pendel, Elinvar für Spiralen und Guillaume-Metall für Kompensationspendel mit Doppelplatte; Jaquerod (Neuchatel) über die Arbeitsmethoden seines Chronometer-Laboratoriums und über eine merkwürdige sprunghafte Gangänderung einer Taschenuhr, die auf einer an einem Faden von veränderlicher Länge hängende Schale aufliegt; Belin über die Sendeapparate der Pariser Zeitsignale und über telegraphisches Fernsehen; Richard (Paris) über neue von ihm verfertigte Instrumente, die eine Teilung der Sekunde in Zehntausendstel ermöglichen; Leroy über den gegenwärtigen Stand und Fortschritt der Uhrmacherkunst; Reverchon über den Wert der Maschine für dieselbe nnd über den Nutzen eines internationalen

Laboratoriums für metallurgische Versuche; Poncet (Cluses) über Vereinheitlichung technischer Bezeichnungen und ihre Anpassung an die Sprache der Mechanik; Lipmann über die seit etwa 20 Jahren in den Uhrmacherfachschulen erzielten Fortschritte; Lebeuf über die Tätigkeit der Sternwarte Besançon und ihr Eingehen auf die Bedürfnisse der Feinmechanik; Ungerer (Straßburg) über Mißstände in den Angaben öffentlicher Uhren. Ferner wurden im Verlauf der Verhandlungen mannigfache Wünsche geäußert, so z. B. nach der Gründung eines Chronometermuseums, nach einheitlicher Normung der Schrauben und der Taschenuhren hinsichtlich ihrer Durchmesser und einzelnen Teile, endlich auch nach einer Teilung des Tages in 20 Stunden und damit einer Zonenteilung der Erde in 20 Kugelsegmente.

Gleichzeitig war im Galliera-Museum zum Andenken Breguets eine Ausstellung seiner Kunstwerke, zum großen Teil aus Beständen der Sammlung des Sir David Salomons, veranstaltet: darunter befand sich z. B. die 1783 begonnene und 1802 vollendete sogenannte „Taschenuhr der Marie-Antoinette", bei der abgesehen von der Triebfeder fast sämtliche Teile aus Gold bestehen und deren Aufzug automatisch durch die Bewegungen des sie tragenden Menschen erfolgt; ferner eine mechanisch-sympathetische Pendeluhr, die sowohl den halbstündigen Aufzug einer aufgesetzten Taschenuhr vollführt als auch deren Gang regelt, Schlagwerk und Kalenderangaben bedient u. dgl. m.

Messow.

Weitere neue schweizerische „Präzisionsdistanzmesser".

Nach Prospekten und Auszügen aus praktischen Messungen.

1. Bei Gelegenheit der Notiz über den Wildschen Entfernungsmesser, vgl. *diese Zeitschr.* ***45.*** *S. 353. 1925*, habe ich bereits angedeutet, daß in der Schweiz seit Einführung des Prinzips der Aufnahme nach Polarkoordinaten (statt rechtwinkliger Kleinkoordinaten) in die Grundbuchmessungen (Geländeklassen II und III), wobei die Entfernung zwischen Instrument und jeweils aufzunehmendem Punkt „optisch", mit Hilfe eines genügend genauen Distanzmessers bestimmt wird, außer dem Wildschen Instrument eine Reihe anderer neuer Entfernungsmesser konstruiert oder entworfen worden sind. Die wichtigsten davon sind die Einrichtung von Werffeli (der älteste, schon seit mehreren Jahren erfolgreich in praktischem Gebrauch), dann die von Dr Engi und von Boßhardt. Die zwei ersten sind von der bekannten Kernschen Werkstatt in Aarau, Schweiz, ausgeführt oder daselbst im Bau, die dritte (Boßhardt) soll in der Geodätischen Abteilung des Zeisswerks (Jena) in Ausführung begriffen sein.

2. Die Werffelische Methode der Entfernungsmessung verwendet das gewöhnlich nach Reichenbach benannte (aber bekanntlich viel ältere) Prinzip des „Fadendistanzmessers" mit zwei festen Entfernungsfäden, nur daß die Latte horizontal gelegt wird, so daß die Fäden im Fernrohr (Striche auf einem Glasplättchen) vertikal stehen müssen, besonders wegen der für feinere optische Entfernungsmessung mit Recht gefürchteten Differentialrefraktion bei vertikaler Latte und horizontalen Fäden. Die wichtigste Besonderheit dieser Methode ist also Teilung und Aufstellung der Latte (DRP. 300240). Diese ist auf Metall aufgetragen, und zwar in der Form einer zweiteiligen Keilfelderteilung (s. u.). Die Lattenlänge reicht, bei der Hauptkonstanten 100 des entfernungsmessenden Fernrohrs bis zu 140 m Entfernung aus; die Latte kann an dem senkrechten Ständerstab des Lattenhalters verschoben werden, so daß ihre Mittellinie auf Instrumentenhöhe gerückt werden kann, vgl. Fig. 1.

Auch dieses Distanzmesserfernrohr liefert zunächst die schiefe Entfernung D zwischen der Kippachse des Instruments und der Latte nach der Gleichung

$$D = C_n \cdot l + k, \qquad 1)$$

in der diesmal k die Additionskonstante, C_n die Multiplikationskonstante (in der Natur 100) des Fernrohrs, l den zwischen den Entfernungsfäden erscheinenden Lattenabschnitt bedeuten; diese schiefe Entfernung D muß also auf die wagrechte, in den Plan einzutragende Entfernung e reduziert werden nach

$$e = D \cdot \cos \alpha, \qquad 2)$$

wenn α der +- oder —-Höhenwinkel der Zielung ist. Für die Hauptkonstante C_n in (1) wird der Ausdruck aufgestellt:

$$C_n = C_0 + 0{,}0025\, t_n{}^0 - \frac{100 \cdot H}{R} + \frac{100\, X^2}{2\, R^2}, \qquad 3)$$

in dem bedeuten: C_n die bei der Instrumententemperatur $t_n{}^0$ C anzuwendende Zahl für die Hauptkonstante und C_0 den bei der Temperatur 0^0 vorhandenen Wert für diese Zahl, ferner in den ganz kleinen zwei letzten Korrektionsgliedern rechter Hand R den Halbmesser der Vermessungskugel in km, H die Meereshöhe der Vermessungsstelle in km, X die Abszisse dieser Stelle im rechtwinkligen schweizerischen Landesvermessungskoordinatensystem (querachsiges winkeltreues System). Diese beiden letzten kleinen Glieder rechts in (3) berücksichtigen also die geringe Verkleinerung der tatsächlich gemessenen Entfernung zur Reduktion aufs Meeresniveau und die zum Eintragen dieser Entfernung an bestimmter Stelle des Koordinatensystems (mit nicht ganz kleinem X) erforderliche geringe Vergrößerung dieser Strecke; beide Korrektionen in Form sehr geringer Verkleinerung und Vergrößerung der Hauptkonstanten C_n. Um die Gesamtkorrektion der gemessenen schiefen Entfernung bequem mit dem Rechenschieber ausrechnen zu können, ist auf diesem eine logarithmische Skala der Werte

$$c_n = C_n - 100 \qquad 4)$$

aufgetragen, ferner eine Zahlentafel der Werte

$$\varphi = 100\,(1 - \cos \alpha) \qquad 5)$$

entworfen, aus der der dem Höhenwinkel α entsprechende Wert φ zu entnehmen ist. Wenn dann die Werte

$$\varepsilon = \left(l + \frac{k}{100}\right) \cdot 100 \qquad 6)$$

genügend ausführlich tabuliert sind, so erhält man mit einer Rechenschiebereinstellung die Werte der Horizontaldistanzen e aus

$$e = \varepsilon + \varepsilon \cdot c_n - \varepsilon \cdot \varphi\,. \qquad 7)$$

Diese Arbeitsweise ist bequem, allerdings nur für die aber meist vorhandenen kleineren Höhenwinkel, während man bei großen $+$ oder $-\alpha$ besser unmittelbar nach 1) und 2) rechnet.

Bei der Scharfstellung der Bilder der zwei Distanzfäden und der Lattenbilder während des Gebrauchs des Instruments ist die Art und Weise dieser Scharfstellung bei der Ermittlung der Hauptkonstanten des entfernungsmessenden Fernrohres von Seiten der Kernschen Werkstatt zu beachten, wie sie in der „Anleitung für optische Präzisionsdistanzmessung mit Werffeli-Latte“ angegeben ist (von Kern zu beziehen). Auf diese Druckschrift muß hier auch in Beziehung auf die Einrichtung der Keilfeldstriche der Latten verwiesen werden. Fig. 1 und 2 zeigen die aufgestellte und verpackte Latte.

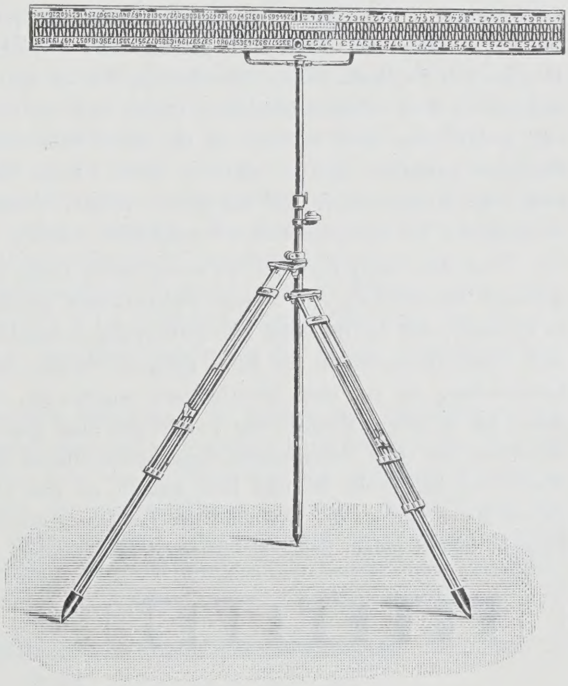


Fig. 1.

Die Ergebnisse, die die Entfernungsmessung mit der, wie erwähnt bereits seit mehreren Jahren in der schweizerischen Katasterordnung verwendeten Werffeli-Latte bisher geliefert hat, kann ich nach Einsicht ausführlicher Beobachtungen und Handrißhefte nur als sehr gut und sicher kostensparend bezeichnen; z. B. ging bei einer Messungsreihe von 57 Polygonseiten zwischen 25 m und 165 m Länge der Unterschied zwischen Messung mit Werffeli-Latte (Mittel aus 4 Messungen, 2 im Hingang, 2 im Rückgang) und direkter Messung mit 5 m-Latte (doppelt mit absenkeln) nirgends über 8 cm (dies bei einer 112 m-Seite) hinaus. Für die Messung von Zugseiten empfiehlt die

„Anleitung“ in der Tat 4fache optische Messung, für die Festlegung von Kleinpunkten genügt Doppelmessung.

3. Einen ganz anderen Weg geht Dr. Engi bei seinem neuen Distanzmesser. Dieser ist ein Koinzidenz-Distanzmesser; der parallaktische Winkel ω wird mittels zweier übereinander gesetzter und um $\frac{\omega}{2}$ gekreuzte Spiegel hergestellt, die auf dem mit dem Fernrohr des Instruments angezielten Punkt aufgestellt sind, während die Horizontallatte sich bei dem Beobachter, über der Mitte des Beobachtungsfernrohrs befindet. Die Spiegelebenen werden durch eine einfache Zielvorrichtung senkrecht zur Visur gerichtet; in Wirklichkeit ist nur ein Spiegel und ein davor gesetztes achromatisches Prismenpaar vorhanden, womit besser die Konstanz von ω erreicht werden soll. Die Besetzung des Spiegels durch den Gehilfen bei der Senkrechtstellung zur Zielung soll ausgenützt werden zur automatischen Multiplikation der dem Winkel ω entsprechenden Konstanten mit dem cos des Neigungswinkels der Zielung, indem durch jene Spiegeldrehung der parallaktische Winkel ω entsprechend verändert wird, was mechanisch leicht durchführbar sei (wie, ist dem Ref. aus der ihm zugänglichen Notiz von Dr. Engi nicht ersichtlich). Der Fortschritt, der durch diese automatische Reduktion auf den wagrechten Abstand erreicht würde, wäre im Vergleich mit anderen Einrichtungen (Wild, Werffeli) sehr beträchtlich und willkommen. Indessen kann der Ref. (der das fertige Instrument noch nicht gesehen hat) Bedenken darüber nicht unterdrücken, daß dieser wichtige Teil der Beobachtung, Handhabung des auf dem aufzunehmenden Punkt aufgestellten Spiegelinstruments dem Gehilfen überlassen bleibt, während der Beobachter weit davon entfernt am Fernrohr steht; ferner auch darüber, ob die ganze Einrichtung für einigermaßen beträchtliche Entfernungen genügend genau wirksam bleibt. Auch die Ablesung des Höhenunterschieds ohne Ablesung des Höhenwinkels soll durch eine zweite, ebenfalls vom Gehilfen vorzunehmende einfache Veränderung am Spiegelinstrument ermöglicht werden.

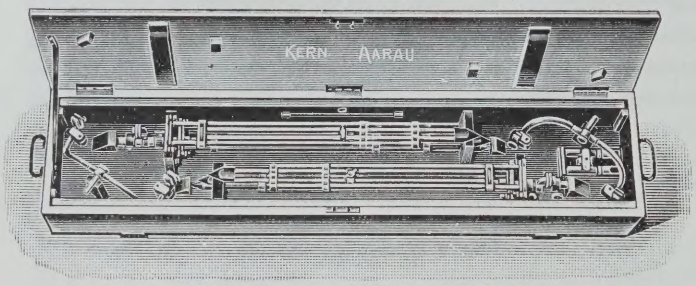


Fig. 2.

Die über dem Fernrohr zu montierende Latte ist von der Mitte aus nach beiden Seiten in einfacher Strichteilung mit 50 mm Strichabstand geteilt, wobei die Strichstärke von der Mitte aus so zunimmt, daß im Bilde für alle Entfernungen dieselbe Strichstärke sich zeigt. Es können damit auch nicht symmetrisch zur Mitte gelegene Striche selbst zur Koinzidenz gebracht werden. Die Lattenteilung ist auf zwei Invarblättern angebracht, die von der Lattenmitte aus nach beiden Seiten hin in einem Rahmen nur in kleinem Maß gegeneinander verstellbar sind. Der Beobachter verschiebt mit einer Feinschraube diese beiden Blätter der Latte, bis im Fernrohrgesichtsfeld scharfe Koinzidenz hergestellt ist und liest sodann an den übereinstimmenden Strichen im Fernrohr die Zehner-Meter und an der Trommel der Lattenverschiebungsschraube die m, dm, cm ab. Die Latte kann leicht auf jedem beliebigen Theodolit aufmontiert werden; sie wiegt etwa 1,3 kg. Das Spiegelinstrument in den Händen des Gehilfen im Endpunkt der zu messenden Strecke ist in dem mir zugänglichen Material nicht näher beschrieben; es wird nur wegen der Leichtigkeit dieses Instruments auf die größere Beweglichkeit des Gehilfen hingewiesen. Als besonderen Vorzug dieser Einrichtung hebt Engi ferner hervor, daß der Gehilfe sein Spiegelinstrument auch noch auf Punkten aufstellen könne, wo weder eine horizontale noch eine vertikale Latte, wie sie andere Distanzmesser-Kon-

Fig. 3.

struktionen erfordern, gebraucht werden kann. Eine Abbildung der Engischen Latte über dem Theodolitfernrohr zeigt Fig. 3.

Von Versuchsmessungen mit dem (bis jetzt wohl nur im Modell vorhandenen?) Instrumentarium nach Engi sind mir nur solche über kürzere Entfernungen (automatisch reduziert; die zugehörigen direkt abgelesenen Höhenunterschiede fehlen mir) von 9 m, 16 m, 28 m, 41 m und 52 m bekannt geworden, bei denen sich der m. F. einer Messung, der angegebenen Reihenfolge nach (je nach dem Luftzustand ziemlich stark schwankend) auf ± 6 mm, ± 7 mm, ± 11 mm, ± 10 mm und ± 12 mm belief. Diese günstigen Zahlen fordern allerdings zum weiteren Ausbau auch dieser Engischen Meßmethode dringend auf. *Hammer* †.

Über einen Anastigmaten von Aplanatform.

Von M. Herzberger, *Deutsche Opt. Wochenschr.* ***11.*** *S. 200. 1925.*

Alle aus zwei Linsen verkitteten Systeme lassen sich astigmatisch und auf Bildfeldwölbung korrigieren, wenn die Petzval-Bedingung erfüllt wird. Letztere kommt sinnfällig dadurch zum Ausdruck, daß die an Luft grenzenden Außenflächen nahezu gleich sind, eine Tatsache, die bei den meisten bekannten symmetrischen Anastigmaten mit verkitteten Einzelhälften verifiziert werden kann (Doppelanastigmat von Hoegh, vierlinsiger Satzanastigmat von Rudolph, Pantoskop von Busch, Concentric-Lens von Schroeder, anastigmatischer Meniskus von Hoegh). Ein in dieser Weise korrigiertes System besitzt aber im allgemeinen eine beträchtliche sphärische Unterkorrektion. Durch Vergrößerung der ersten Dicke läßt sich die sphärische Abweichung verringern, allerdings kann dann der Fall eintreten, daß eine astigmatische Korrektion nicht mehr möglich ist, denn nur von einer bestimmten Dicke aufwärts gibt es Blendenabstände, für die das System astigmatisch und auf Bildebnung korrigierbar ist. Eine Beseitigung der sphärischen Abweichung läßt sich nur für eine sehr starke Krümmung der zerstreuenden Kittfläche durchführen. Eine Verkleinerung des Kittradius unter entsprechender Änderung des letzten Radius gemäß der Petzval-Bedingung ist andererseits auch nur bis zu einer gewissen Grenze möglich, da sonst die verfügbare Öffnung zu klein wird. Als letztes Korrektionsmittel bleibt noch die Differenz der beiden Brechungsexponenten. Eine Vergrößerung derselben bringt eine Verbesserung der sphärischen Korrektion mit sich, bedingt jedoch wieder den Fall, daß von einer bestimmten Größe der Brechungsexponentendifferenz an das System nicht mehr astigmatisch korrigierbar ist. Verf. gibt einen neuen Anastigmattypus von Aplanatform an, der in seinem Korrektionszustand ein Optimum darstellt. Bei diesem sind zweite und dritte Fläche fast konzentrisch, was bei allen sphärisch-astigmatisch korrigierten Systemen dieser Art der Fall ist. Die Zusammensetzung der beiden symmetrischen Systeme zu einem Doppelobjektiv ergibt ein System, das für 1 : 8 sphärisch, astigmatisch und auf Bildfeldebnung korrigiert ist. Die chromatische Korrektion bietet keine Schwierigkeiten. Nachteile bestehen in der großen Gesamtlänge und dem geringen Bildwinkel.

Verzichtet man auf völlige anastigmatische Bildebnung, so ergeben sich Aplanattypen, die nur bei kleinem Kittradius sphärisch korrigiert sind und eine geringe Zone besitzen, die aber bei sehr großem oder unendlichem Kittradius eine sehr starke Unterkorrektion aufweisen (Pantoskop von Busch, Concentric-Lens von Schroeder). Ein stetiger Übergang zwischen diesen Typen und dem obigen Anastigmattypus besteht nicht, denn entweder geht die sphärische Abweichung durch Unendlich von positiven zu negativen Werten über, oder der Blendenabstand rückt durch Unendlich.

Flügge.

Prismenwirkung im Nahteil von Zweistärkengläsern.

Von Th. Graff, *Deutsche Opt. Wochenschr.* ***11.*** *S. 188. 1925.*

Verf. behandelt die Ablenkung des Lichts und die chromatischen Fehler der Zweistärkengläser unter Benutzung der Prismenformeln, indem er die Linsenflächen durch tangential berührende Prismenflächen ersetzt. Bei allen Formeln werden die Dicken vernachlässigt und die Sinus der Einfallswinkel durch die Winkel selbst ersetzt. Unter diesen Vereinfachungen ergeben sich dann folgende Sätze:

1. Die Richtungsablenkung, die zwei aneinander anliegende Prismen bewirken, ist gleich der Summe der Ablenkungen, die jedes von ihnen in Luft bewirkt.

2. Der Prismenwinkel einer Linse in der Höhe h beträgt

$$\alpha = h \cdot \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right).$$

3. Die Ablenkung eines Strahles am Rande einer Linse, gemessen in Prismendioptrien, ist genähert gleich dem Produkt aus der Brechkraft der Linse (in Dioptrien) und dem Abstand der Randstelle von der Achse (in Zentimetern).

Unter Zuhilfenahme dieser zuvor abgeleiteten Fundamentalsätze behandelt Verf. sodann die Ablenkung im Nahteil von Zweistärkengläsern. Untersucht werden solche vom Dufosin-Typus, bei welchen das Nahteil durch eine aufsitzende kleine Zusatzlinse von der gleichen Glassorte wie der des Fernteils gekennzeichnet ist, und solche vom Telegic-Typus, bei denen das Nahteil durch Einfügen einer kleinen Linse aus höher brechendem Glas in das Hauptglas zustande kommt. Es ergibt sich, daß der Bildsprung, d. h. die Differenz der Ablenkung am Rand von Fern- und Nahteil, für beide Typen dieselbe Größe besitzt und vom Betrage

$$\pm \frac{\varrho}{10} Z$$

ist, wo ϱ den Radius des Nahteils und Z die Differenz der Brechkräfte von Nahteil- und Fernteil in Dioptrien bedeuten. Ferner wird die Achromatisierung der Telegic-Nahteile behandelt. Es wird zunächst der chromatische Fehler in Prismendioptrien ausgedrückt, daraus wird dann die Achromasiebedingung hergeleitet und schließlich der achromatische Punkt im Nahteil aufgesucht. Es zeigt sich, daß in jedem Telegic-Nahteil ein Gebiet vorhanden ist, wo eine bessere chromatische Korrektion besteht als an der gleichen Stelle im Fernteil, und daß vor allem, entgegen irrigen Vorurteilen, bei allen positiven Gläsern dieses Typs ein Punkt im Nahteil völlige Achromasie aufweist, was bei starken Negativgläsern jetzt noch nicht erreicht werden kann. *Flügge.*

Über astigmatische und orthoskopische Korrektionen.

Von Ch. W. van der Pijl. *Revue d'Optique* **4**, *S. 229. 1925.*

Aus Anwendungen und Spezialisierungen der bekannten Czapskischen Formeln für die tangentiale und sagittale Bildkrümmung erhält Verf. eine neue sehr einfache Bedingung für das Verschwinden der astigmatischen Differenz im Falle einer einfachen dünnen Linse in Luft bei unendlichem Objektabstand. Diese Formel lautet

$$2\,PS_1 - P^2 S_2 = 1\,,$$

wo S_1 und S_2 die Seidelschen Summen für die sphärischen Aberrationen außerhalb und in der optischen Achse bedeuten sowie P den Blendenabstand von der Linse darstellt. Nach P aufgelöst erhält man:

$$P = \frac{S_1 \pm \sqrt{S_1^2 - S_2}}{S_2}\,. \qquad 1)$$

Für denselben Fall wäre die tangentiale Koma behoben, wenn die Spitze der Kaustik auf dem Hauptstrahle liegt. Im Seidelschen Gebiet ist dies in geeigneter Blendenstellung möglich, nämlich im Fall der „natürlichen Blende" nach A. Gleichen. Die Blendenlage P muß hiernach der Bedingung genügen

$$P = \frac{S_1}{S_2}\,. \qquad 2)$$

Sollen nun die Bedingungen 1) und 2) gleichzeitig erfüllt sein, soll also eine vollkommene astigmatische Korrektion stattfinden, so muß gelten:

$$S_1^2 = S_2\,. \qquad 3)$$

Auch diese Formel ist vom Verf. neu hergeleitet worden. Die Änderung des Blendenabstandes bei festgehaltenem beliebigem Radius der ersten Fläche bedingt ein Anwachsen der astigmatischen Differenz und der Öffnung der Kaustik. Dieselben nehmen dabei Maximal- und Minimalwerte bei ganz bestimmten Blendenlagen an, jedoch so, daß der Abstand P beim Eintreten eines Extremwertes der astigmatischen Differenz doppelt so groß ist als beim Eintreten eines Extremwertes der

komatischen Öffnung; dies gilt jedoch wohlbemerkt immer für den Fall der dünnen Linse in Luft bei unendlichem Objektabstand. Demnach ist also im allgemeinen eine vollständige Korrektion des Astigmatismus unmöglich; Bedingung für die Herstellung einer solchen ist immer die Einführung eines ganz bestimmten Radius der ersten Fläche nach Bedingung 3). Da diese Bedingung vom zweiten Grade ist, gibt es zwei derartige Krümmungen, für welche also der Astigmatismus völlig korrigiert ist. Dem einen Wert entspricht die Krümmung Null, weil die Glieder in S_1^2 und S_2, die die Krümmungswerte ϱ_1 nicht enthalten, dieselben sind und sich daher in 3) fortheben, was die Möglichkeit gibt, in der Gleichung $S_1^2 - S_2 = 0$ den Faktor ϱ_1 auszuklammern. Aus demselben Grunde kann ϱ_1 auch sehr große positive oder negative Werte annehmen, die als unendlich groß angesehen werden dürfen. Die einfache dünne Linse ist also vollständig astigmatisch korrigiert in den folgenden drei Fällen, die bei der Berechnung von Anastigmaten durch Kombination einer astigmatisch korrigierten Einzellinse mit einer oder mehreren anderen zur Behebung der übrigen Fehler stets zu finden sind:

1. Gruppe A: Taylor-Typus (Tessar, Stylor, Heliar, ...): Eine plan-konvexe Linse, $\varrho_1 = 0$.

2. Gruppe B: Dagor, Protar, Pantar, Novar, Collinear, Aplanastigmat, ...: Eine „Null-Linse", d. h. ein Meniskus, mit gleichen sehr starken Krümmungen.

3. Gruppe C: Hypergon, vordere Dogmar-Hälfte, Distor, Additor, ...: Ein Meniskus, bei dem der Blendenabstand P gleich dem Radius der ersten Fläche ist.

Unsere besten Objektive sind in Wirklichkeit nur für zwei Winkel korrigiert. Ein Maß für die Fehler außerhalb dieser Winkel ist noch nicht genügend definiert. Die Erfüllung der Sinus-Bedingung ist bisher nur in bezug auf die Hauptachse ein Kriterium für die Öffnung der Kaustik gewesen. Aber sie läßt sich auch auf solche Büschel anwenden, die unter einem endlichen Winkel die optische Achse schneiden, und zwar gerade unter dem Winkel, für den die Koma-Korrektion durchgeführt ist. Die Erfüllung dieser erweiterten Sinusbedingung kommt hinaus auf eine Korrektion der Koma. Die zugehörige Achse nennt Verf. im Gegensatz zur Hauptachse „Nebenachse". Ganz entsprechend der Bedeutung der gewöhnlichen Hauptpunktskurven, die die Sinus-Bedingung darstellen, kann man nun „kaustische" Hauptpunktskurven definieren. Dieselben sind dann eine graphische Darstellung der erweiterten Sinus-Bedingung.

Wie soll nun ein System auf Koma korrigiert sein, so daß das Bild z. B. eines photographischen Objektivs möglichst naturgetreu wirkt? Diese Frage beantwortet Verf. damit, daß nicht allein eine völlige Korrektion der Kaustik vorgenommen werden soll, sondern es muß auch eine Korrektion gefunden werden, die sich den Verhältnissen im menschlichen Auge bestens anpaßt. Bei diesem ist der Strahlenverlauf so, daß die Lichtstrahlen die hintere Fläche der Kristallinse nahezu senkrecht durchsetzen. Also, schließt Verf., ist dies auch bei der Konstruktion von Objektiven zu beachten. Andernfalls kann nicht ein großer Teil der Kaustiken an der Abbildung teilnehmen, und hierin liegt gerade die Hauptursache für eine möglichst vollkommene Abbildung. Dieser Punkt wird meistens vernachlässigt, indem durch Blenden usw. viel abgeschnitten wird.

Gerade d e Einwirkung eines möglichst großen Teils der Kaustiken trägt zur plastischen Vollendung des Bildes bei. Doch gestatten die sphärischen Gläser nicht, ein Bild zu erzeugen, das dem vom Auge empfundenen natürlichen Eindruck vollkommen vergleichbar wäre. Denn die astigmatische Korrektion erfordert ganz entgegengesetzte Bedingungen als die Korrektion der Kaustiken. Da muß nun ein Ausgleich geschaffen werden; und dieser Ausgleich ist am besten in dem Taylor-Typus verwirklicht. Um einen Begriff von der astigmatischen und komatischen Korrektion zu erhalten, betrachtet man am besten die Kaustik, welche von den oben definierten Nebenachsen gebildet wird. Diese ist für den Fall des Taylor-Typus beinahe punktförmig. Man kann annehmen, daß dieser kaustische Pol ein auf der Achse unveränderlich festliegender Punkt ist, der sich gerade an der Stelle der natürlichen Blende von Gleichen befindet. Diese Annahme erleichtert das Problem bedeutend und führt bei der Durchrechnung schneller als gewöhnlich zum Ziel. Durch diese hier besprochene Abhandlung dürfte die Bedeutung der Koma in die ihr gebührende Stellung gehoben sein, insofern sie als zur naturgetreuen Wiedergabe des natürlichen Objekts hervorragend beitragend erkannt ist. *Flügge.*

Dunkelfeldbeleuchtung im auffallenden Licht.

Von F. Hauser, *Deutsche Opt. Wochenschr.* ***11.*** *S. 185. 1925.*

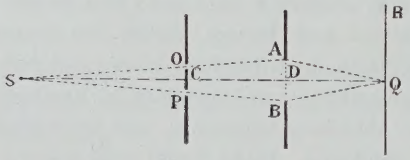
Um bei auffallendem Licht eine der Dunkelfeldbeleuchtung ähnliche Beleuchtung zu erzielen, muß die Strahlenführung so geregelt werden, daß nur diffus reflektiertes Licht in das Mikroskopobjektiv gelangen kann. Diese Art der Beleuchtung läßt sich mit einem Lieberkühn-Spiegel erreichen, doch können in diesem Fall nur größere Objektivbrennweiten verwendet werden, da sonst die Objektivfassung Strahlen fortnimmt. Hiervon ausgehend hat Verf. Kondensorformen angegeben, die auch bei Dunkelfeldbeleuchtung in auffallendem Licht für die geringsten bei Trockensystemen vorkommenden Arbeitsabstände verwendbar sind. Ein derartiger Kondensor aus Metall kann auf das Objektiv geschoben werden und wirkt in folgender Weise: das vom Mikroskopspiegel herkommende Licht wird an einem Kegelspiegel von etwa 45° halber Öffnung reflektiert und gelangt nun zu einem ringförmigen Hohlspiegel, von dem aus die Strahlen nach dem Objekt zurückgeworfen werden. Das Objekt muß zweckmäßig in den Brennpunkt des Hohlspiegels eingestellt sein. Noch bessere Lichtausnutzung auch bei kürzesten Objektivabständen kann erreicht werden, wenn das Licht zunächst auf einen kegelförmigen Hohlspiegel und dann auf einen ringförmigen Hohlkegelspiegel gelangt. Allerdings haben diese letzteren Kondensoren größere räumliche Abmessungen. Doch läßt sich auch dies vermeiden, wenn der kegelförmige Hohlspiegel stärker gekrümmt ist und der ringförmige Hohlkegelspiegel durch einen ringförmigen Zerstreuungsspiegel ersetzt wird. Durch eine unter dem Objekttisch angebrachte Irisblende können die auf das Objekt am steilsten auftreffenden Strahlen abgeblendet werden und infolgedessen der Arbeitsabstand noch weiter verringert werden. Die beschriebenen Kondensoren können auch so ausgeführt werden, daß sie auf dem Objekttisch aufgestellt werden können, wodurch sich ein leichteres Auswechseln der Objektive ermöglicht. An Hand von Photogrammen kann Verf. zeigen, daß beim Studium von Feinstrukturen die Dunkelfeldbeleuchtung die vom Ätzmittel stärker angegriffenen, zeichnungsreicheren Teile herausarbeitet, wogegen bei der Hellfeldbeleuchtung diese gegen die weniger zeichnungsreichen Stellen zurücktreten. *Flügge.*

Ein Pupillenmesser.

Von André Broca. *Revue d'Optique* ***3.*** *S. 493. 1924.*

Das vom Verf. beschriebene Instrument benutzt die von Frick gegebene Anordnung.

In der Figur sei AB die Pupille und R die Retina des auf den Punkt S akkommodierten Auges. Wird dann zwischen S und dem Auge ein undurchsichtiger Schirm C mit zwei kleinen



Linsen O und P gehalten und die Entfernung dieser beiden Linsen so reguliert, daß die durch sie auf der Netzhaut entstehenden Zerstreuungskreise sich genau in dem Punkt Q berühren, so ist aus den Entfernungen SC des eingestellten Punktes S von der Lochplatte und SD von der Pupille sowie der Entfernung OP der beiden Löcher voneinander der Durchmesser AB der Pupille leicht zu berechnen.

Der Verf. hat nun vor dem Auge unter 45 Grad gegen den Strahlenverlauf eine spiegelnde Platte angebracht, die, um schädliche Doppelbilder aus dem Gesichtsfelde zu bringen, schwach prismatisch ist. Seitlich davon wird die Lochplatte angebracht. Die Entfernung der Linsen voneinander wird mikrometrisch bestimmt. *H. Krüss †.*

Ein Monochromator für den Anfang des Ultrarots, das sichtbare Licht und das Ultraviolett.

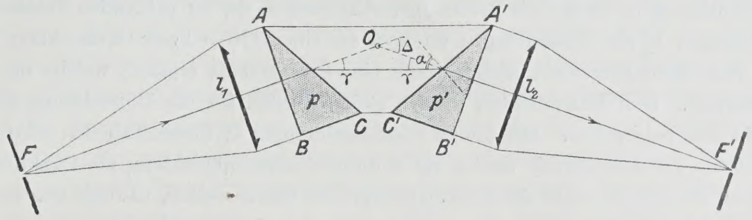
Von G. Athanasiu. *Revue d'Optique* ***4.*** *S. 65. 1925.*

In sehr ausführlicher Weise wird ein für Wellenlängen von $3\,\mu$ bis 2000 Å. E. brauchbarer Monochromator beschrieben, der indessen prinzipiell Neues nicht bietet. Wie aus der Figur ersichtlich ist, besteht er aus den beiden Spalten F und F', den plankonvexen Quarzlinsen $l_1\,l_2$ und den Cornuschen Quarz-Halbprismen p und p' von je 30° brechendem Winkel; die Linsen haben 50 mm Durchmesser und eine Brennweite von 300 mm für Natriumlicht. Die Einstellung auf Unendlich für die verschiedenen Wellenlängen erfolgt durch Verschiebung der Spalte. Während das

Spaltrohr Fp feststeht, ist das Spaltrohr $F'p'$ um die Achse O drehbar; in diesem Falle liegen die Orte, die F' bei der Justierung für die einzelnen Wellenlängen einzunehmen hat, ziemlich genau auf einer geraden Linie. Ist n das Brechungsverhältnis des Quarzes und Δ die Gesamtablenkung des Parallelstrahlenbüschels, so folgt

$$n = 2 \sin\left(\frac{\Delta}{2} + 30^0\right).$$

Der ziemlich kompliziert gehaltene Aufbau des Instruments wird sehr eingehend an der Hand von alle Einzelheiten wiedergebenden Figuren geschildert. Mag der Apparat in dieser Gestalt auch



sehr brauchbar sein, so läßt er sich doch wohl viel einfacher und dabei für die Benutzung bequemer konstruieren.

Zum Schluß wird die Möglichkeit erörtert, daß die beiden Spaltrohre automatisch durch die Bewegung des einen von ihnen die richtigen Einstellungen auf Unendlich erhalten. Dies ist zu erreichen, wenn man nicht die Spalte, sondern die Objektive sich zwangsläufig verschieben läßt.

Schck.

Zur Einstellungsgenauigkeit des Babinet-Soleilschen Kompensators.

Von G. Szivessy. *Zeitschr. f. Phys.* ***29.*** *S. 372. 1924.*

Es handelt sich um eine kleine aber wesentliche Verbesserung des Halbschattenkompensators von Szivessy (vgl. das Referat in *dieser Zeitschr.* ***40.*** *S. 217. 1920*). Die Phasenverzögerung des Soleilschen Kompensators sei φ, die der Halbschatten-Glimmerplatte δ. Fallen dann ihre Hauptschwingungsrichtungen mit den optischen Achsenrichtungen des Kompensators zusammen, und stehen weiter die Polarisationsebenen der Nicol gekreuzt und zwar unter 45^0 gegen die optischen Achsen des Kompensators, so erscheinen die Gesichtsfeldhälften gleich dunkel, wenn

$$\operatorname{tg} \varphi = -\operatorname{tg} \frac{\delta}{2} \qquad \text{somit} \qquad \varphi = \pm 2 k \pi - \frac{\delta}{2}$$

ist, worin k eine ganze Zahl bedeutet. Die Empfindlichkeit der Einstellung wird um so größer, je kleiner δ ist.

Zur Erreichung der größtmöglichen Empfindlichkeit hat man δ entsprechend der zu benutzenden Wellenlänge und der Intensität der Lichtquelle zu wählen. Dies läßt sich nun bequem ermöglichen, wenn man die Halbschattenplatte, an einem Teilkreise befestigt, in ihrer Ebene drehbar anbringt. Ihre Hauptschwingungsrichtungen mögen mit den optischen Achsen des Kompensators das zwischen null und $\frac{\pi}{4}$ liegende Azimut ψ bilden. Dann sind die Intensitäten der Gesichtsfeldhälften gleich, wenn der Bedingung genügt wird

$$\operatorname{tg} \varphi = -\cos 2\psi \operatorname{tg} \frac{\delta}{2}.$$

Als wirksame Phasenverzögerung der Halbschattenplatte führen wir den Wert δ' ein, der definiert wird durch

$$\operatorname{tg} \frac{\delta'}{2} = \cos 2\psi \operatorname{tg} \frac{\delta}{2}$$

und demgemäß zwischen null und δ liegt. Alsdann ist wieder ähnlich wie oben

$$\operatorname{tg} \varphi = -\operatorname{tg} \frac{\delta'}{2},$$

d. h. die Halbschattenplatte wirkt wie eine solche im Azimut null eingebrachte mit der Phasenverzögerung δ'.

Damit ist also mittels einer einzigen Glimmerplatte eine Halbschattenanordnung hergestellt, die hinsichtlich der Empfindlichkeit beliebig verändert werden kann, weil man durch geeignete Wahl von ψ jede gewünschte, zwischen null und δ gelegene, wirksame Verzögerung δ' zu erzeugen vermag. *Schck.*

Butter- und Eintauchrefraktometer.

Von W. Perry und C. Roberts. *Journ. of scientific Instr. I. S. 87. 1923.*

Im Prüfungslaboratorium der Firma Adam Hilger haben die Verf. Butter- und Eintauchrefraktometer von Zeiss (Jena) auf ihre Richtigkeit näher untersucht. An diesen Apparaten liest man für gewöhnlich nicht direkt die Brechungsverhältnisse n der zu prüfenden Substanzen ab, sondern die Ablesungen N der Einstellungen erfolgen an einer 110-teiligen Okularskale; oftmals wird sie, wie z. B. beim Milchfettrefraktometer, durch eine Prozentskale ergänzt, welche die Fettprozente unmittelbar anzeigt. Den Instrumenten werden stets Tabellen für die Umrechnung der Skalenteile in Brechungsindices beigegeben. Die innere Übereinstimmung in diesen Tabellen wird nun von den Verf. kontrolliert. Zu dem Zweck stellen sie n durch Reihenentwicklung als Funktion von N dar und finden, daß die Fehler nicht die Genauigkeitsgrenze überschreiten, die mit den Refraktometern erreichbar ist. *Schck.*

Einheits-Mikroskopstative.

Von B. Humpert. *Zeitschr. f. Feinmech. u. Präz.* **32**. *S. 226. 1924.*

Die Mikroskopstative lassen sich ihrer Form nach im wesentlichen in zwei große Gruppen einteilen, die kontinentalen und die englischen Stative. Der Unterschied besteht darin, daß der Fuß der kontinentalen Stative eine auf drei Stützpunkten ruhende Hufeisenform zeigt, wogegen die englischen Stative eine hochstehende Dreifußform aufweisen. Größere Vorzüge zeigen die kontinentalen Stative, insbesondere liegt bei ihnen das Schwergewicht in dem standhaften Fuß, und die den englischen Stativen anhaftenden vielen Stellschrauben, Triebknöpfe und Justiervorrichtungen sind nicht zum Nachteil durch eine exakte Ausführung vermieden.

Ein sehr weitverbreiteter Typus der kontinentalen Stative ist das Leitzsche C-Stativ. Bei diesem ist die Feineinstellung vom Stativ an den Mikroskoptubus verlegt. Infolgedessen ruht nur das Gewicht des Tubus auf der Feder der Feinstellschraube, und die zu bewegende Masse ist gegenüber den bisher üblichen Stativen verringert. Neu ist vor allem der Mechanismus der Feineinstellung, welche niemals an einen Anschlag führt. Es wird nämlich abwechselnd ein Steigen und Fallen des Tubus bewirkt durch ein herzförmiges Stück, das auf der Achse eines Schneckenrades befestigt ist, welches seinerseits mit einer Schneckenwelle in Verbindung steht. Eine ganze Umdrehung der Feineinstellung entspricht einer Hebung und Senkung des Tubus um 0,2 mm. Da auf der Schneckenwelle eine hundertteilige Teiltrommel aufgesetzt ist, bewirkt die Weiterdrehung um einen Teilstrich eine Hebung oder Senkung des Tubus um 0,002 mm. Außerdem kann die Feineinstellung niemals das Objekt zertrümmern, weil bei Berührung des Objektivs mit dem Deckglas keine Weiterbewegung mehr stattfindet. Der Fuß des C-Stativs gewährt durch weiten Abstand der Stützpunkte einen sicheren Stand. Die obere Säule ist weit ausgebogen und bildet daher einen vorzüglichen Handgriff und gestattet die Anbringung eines großen Objekttisches. *Flügge.*

Ein hochempfindliches Röhrengalvanometer mit Gleichstromrückkopplung.

Von R. Jaeger und H. Scheffers, *Wissensch. Veröffentl. a. d. Siemens-Konzern* **4**. *S. 233. 1925.*

Vor einiger Zeit wurde von K. W. Hausser, R. Jaeger und W. Vahle (*Wissensch. Veröffentl. a. d. Siemens-Konzern* **2**. *S. 233. 1922*) ein Röhrengalvanometer beschrieben, das als Ersatz für das sonst zur Messung sehr kleiner Ströme meist verwendete, unhandliche Elektrometer dienen sollte. Der zu messende Strom fließt über einen im Gitterkreis einer Verstärkerröhre liegenden hochohmigen Widerstand; die dadurch hervorgerufene Gitterspannungsänderung wird durch die Änderung des Anodenstromes mit Hilfe eines gewöhnlichen Zeigergalvanometers von etwa $3 \cdot 10^{-7}$ A/s Empfindlichkeit gemessen. Um die bei normaler Anodenspannung von 100 Volt auftretenden störenden Ionisationsströme des Gitters zu vermeiden, wird die Anodenspannung auf 7 V herabgesetzt. Die Messungen werden bei einer Gitterspannung von — 4 V vorgenommen, zur Verwendung gelangt eine Röhre mit großem Durchgriff, die wegen des niedrigen Anodenpotentials zweckmäßigerweise ein

Raumladegitter enthält. Die Empfindlichkeit eines solchen Röhrengalvanometers, das z. B. zur Mesung der Luftleitungssättigungsströme von Röntgenstrahlen verwendet wird (Röntgendosismesser), beträgt etwa $5 \cdot 10^{-13}$ A/s.

In der vorliegenden Arbeit wird nun eine neue Schaltung dieses Röhrengalvanometers beschrieben, bei der durch eine Art Gleichstrom-Rückkopplung eine Vergrößerung der Steilheit der Röhre und damit eine weitere Erhöhung der Empfindlichkeit der Meßanordnung erreicht wird. In den Steuergitterstromkreis ist ein Widerstand so geschaltet, daß über ihn zugleich der Raumladestrom fließt. Eine durch den Meßstrom hervorgerufene Änderung der Steuergitterspannung wird daher durch die an dem Widerstand infolge des Raumladestromes auftretende Spannungsänderung weiter vergrößert. Wie die Verfasser zeigen, kann durch geeignete Wahl des Steuergitterkreiswiderstandes die Steilheit der Röhrencharakteristik beliebig erhöht werden. Allerdings wächst gleichzeitig auch die Abhängigkeit des Anodenstromes vom Heizstrom außerordentlich stark an, so daß die Konstanz der Heizung bei mehr als 10facher Steilheit den an sie zu stellenden Ansprüchen nicht mehr genügt. Die praktisch erreichbare maximale Stromempfindlichkeit beträgt daher etwa $5 \cdot 10^{-14}$ A/s, als maximale Spannungsempfindlichkeit kann man 10^{-6} V/s erreichen, wenn man im Anodenkreis ein Spiegelgalvanometers von etwa $5 \cdot 10^{-10}$ A/s Empfindlichkeit anstelle des Zeigergalvanometers verwendet. *Lh.*

Bücherbesprechungen.

L. C. Martin. Optische Meßinstrumente, Verlag von Blackie and Son, London, Glasgow, Bombay, 1924.

Das gut ausgestattete Buch (270 S. gr. 8⁰) wendet sich an alle, die von Berufswegen mit optischen Meßinstrumenten zu tun haben, an die Physiker, Chemiker, Metallurgen, Biologen, Geodäten und Astronomen, ferner an die Offiziere der Armee und Marine; auch für die technischen Optiker ist es bestimmt. Aus dem Geleitswort, das F. J. Cheshire, der Direktor der optischen Abteilung der Technischen Hochschule zu South-Kensington, dem Buche vorausschickt, geht hervor, daß er dem Verf. die Anregung gegeben hat, erstmalig eine Anzahl gut ausgewählter typischer Instrumente zu beschreiben, an denen man optische Prinzipien und Konstruktionen erläutern kann. In seinem Vorworte erinnert der Verf. an den hohen Stand der optischen Technik in England, die keiner auswärtigen nachstehe; er betont, absichtlich nicht den Stoff gebracht zu haben, der in den üblichen „textbooks“ steht. In 12 Kapiteln werden Meßmikroskope, Komparatoren und Meßmaschinen, der Teilkreis, Theodolite und Sextanten, Nivellierinstrumente, Entfernungsmesser, Spektrometer und Goniometer, Refraktometer, Sphärometer und andere Instrumente zur Messung von Krümmungen, Apparate zur Bestimmung von Brennweiten, Photometer, Polarimeter und Saccharimeter, und in einem Schlußkapital Fehlerquellen und Meßgenauigkeiten besprochen. Jedes Kapitel ist durch eine klare Unterteilung übersichtlich gestaltet, und enthält schematische Zeichnungen und perspektivische Ansichten oder moderne Abbildungen, letztere aus Katalogen der Hersteller der Instrumente (englische Firmen in großer Anzahl, außerdem die Société Genevoise und Carl Zeiss). Das Bestreben des Verf., in der Darstellung sich von dem in den Lehrbüchern üblichen Gange frei zu machen und etwas Eigenes zu geben, tritt überall hervor; so wird der Eindruck des Lehrhaften mit Glück vermieden, da man auf Schritt und Tritt die enge auch im Vorwort betonte Verbindung des Verfassers mit der Praxis, d. h. mit dem frischen Leben spürt, das im optischen Instrumentenbau der Nachkriegszeit herrscht. Unter den geodätischen Instrumenten vermißt man die Winkelprismen um so mehr, als das einzige (Fig. 45), das bei dem Sextanten erwähnt ist, einen mysteriösen Strahlengang aufweist, da die reflektierende Fläche von den Strahlen gar nicht getroffen wird. Bemerkenswert erscheint dem Ref. die Ausführlichkeit (7 S. mit 5 Fig.), die der Beschreibung des Zeiss-Wildschen Nivellierinstruments gewidmet wird, dessen Zweckmäßigkeit in der Zeitersparnis beim Ausrichten und in der Dauerhaftigkeit der Justiereinrichtungen begründet sei. Über die Entfernungsmesserkonstruktionen wird mit großer Offenheit berichtet; Pulfrichs Zickzackskala im Stereotelemeter ist ebenso unverwüstlich wie das nunmehr 25 jährige Landschaftsbild mit stereoskopischer Meßskala. Auch die Abbe-Pulfrichsche und die Königsche Innenjustierung

scheinen durch den Krieg nicht überholt worden zu sein. Über die Bestrebungen, die Spektrometermessungen bis auf die sechste Dezimale von n auszudehnen, finden sich auf S. 128 wertvolle kritische Äußerungen des erfahrenen Verfassers. Den Schluß des Kapitels über Spektrometer bildet eine Beschreibung eines Autokollimationsspektroskops von Ad. Hilger mit schräggelagertem Fernrohr und mikrometrisch drehbarem Prisma, das sich von der Pulfrichschen Konstruktion *(diese Zeitschr.* ***14.*** *S. 554. 1894)* nur durch die nach Wellenlängen bezifferte Meßschraube und das einfachere Prisma unterscheidet. Dieses Instrument ist der einzige Vertreter der Gruppe Spektroskope, Monochromatoren und Spektrographen, die kein besonderes Kapitel bildet. Das Kapitel Refraktometer ist besonders ausführlich gehalten, man trifft darin eine ganze Reihe alter Bekannter, denen während des Krieges das englische Bürgerrecht ohne Bedenken verliehen worden ist. Das Abbesche Krystallrefraktometer, — mit dessen Anfertigung die englische optische Industrie sich noch nicht befaßt hat — gibt es in der Form der Fig. 98 seit 25 Jahren nicht mehr. Die amerikanischen Refraktometer sind überhaupt nicht erwähnt — eine vornehme Kritik. Der Beschreibung des Abbeschen Refraktometers hat leider ein Vorkriegsmodell zugrunde gelegen; die das Prismengehäuse tragende Alhidade ist seitdem mit einer Feinbewegung ausgerüstet und die Nachjustierung in das Fernrohr verlegt worden. Das Férysche Refraktometer für Flüssigkeiten (C. Féry, 1891) wird neuerdings ebenfalls von der Firma Ad. Hilger gebaut; der Brechungsindex wird an einem Nonius abgelesen, der so fein ist, daß $^1/_{300}$ mm einer Einheit der vierten Dezimale entspricht. Da außerdem Natriumlicht verwandt werden muß, ist dieses Modell in Deutschland vom Ref. noch nie angetroffen worden. Den Schluß dieses Kapitels bildet eine sachverständige Beschreibung des Zeissschen Interferometers. Das Dreispitzensphärometer, das der Verf. in der Form, wie es sich gewöhnlich im physikalischen Praktikum vorfindet, als besseres Spielzeug bezeichnet, ist durch Aldis und Guild *(Trans. Opt. Soc. Jan. 1916)* zu einem Präzisionsmeßinstrument ausgebildet worden (Firma Pye and Sons) insbesondere dadurch, daß die Spitze der Meßschraube, die sich auf den Scheitel der zu messenden (Glas-)fläche aufsetzt, durch eine kleine Glaskugel ersetzt worden ist; die Beobachtung der Newtonschen Ringe, die kurz vor dem Kontakt zwischen dieser Kugel und der Objektfläche entstehen, erfolgt in einem besonderen Mikroskop mit Vertikalilluminator und liefert außerordentlich gleichmäßige Einstellungen der Meßschraube. An die Beschreibung des Steinheilschen und des Abbeschen Ringsphärometers fügt Verf. noch wertvolle Anregungen zur Ausgestaltung dieses Meßinstruments. Der Photometrie sind 40 Seiten gewidmet, wir finden in diesem Kapitel nach ausführlicher Besprechung der lichtschwächenden Konstruktionselemente die üblichen Photometer für die Beleuchtungstechnik, die Spektrophotometer, einschließlich des Wannerschen Pyrometers, das jetzt auch in England von der Cambridge and Paul Scient. Instr. Co., gebaut wird. Für Spektrophotometrie, auch nach der theoretischen Seite hin, bildet dieser vom Verf. mit besonderer Liebe behandelte Abschnitt eine Fundgrube; er schließt ab mit Pulfrichs Stereophotometer. Im Kapitel Polarimeter und Saccharimeter wird nach den Polarisatoren nach Cornu-Jellet, Lippich und Laurent der neue Halbschatten von Bellingham und Stanley beschrieben. Er besteht aus zwei Prismen, die rhombischen Querschnitt haben, und deren rhombische Endflächen, als natürliche Spaltungsflächen, eine besondere Widerstandsfähigkeit gegen mechanische Verletzungen aufweisen. Die Prismen sind so lang und schmal, daß der ordentliche Strahl schräg auf eine Seitenwand trifft und die Endfläche nicht erreicht. Nur an einer der Endflächen ist eine scharfe Kante angeschliffen, die die Trennungslinie in dem zweiteiligen Gesichtsfelde liefert; das andere Prisma endigt vom Okular aus gerechnet, weiter rückwärts, seine Endfläche wird also gar nicht scharf gesehen. Das Lippichsche Polarimeter und das Soleil-Ventzke-Seiblersche Saccharimeter werden durch gute schematische Schnitte erläutert; eine Abbildung des Polarimeters der Firma Bellingham & Stanley (1922) beschließt das Kapitel, in dem die deutschen und die französischen Firmen fehlen, die zum Teil seit 70 Jahren die Konstruktionen der Polarimeter entwickelt haben. In dem Schlußkapitel werden die Begriffe arithmetisches Mittel, wahrscheinlicher Fehler, mittlerer Fehler, der Wert der Vermehrung der Anzahl der Beobachtungen, sowie das „Gewicht" einzelner Beobachtungen kurz abgeleitet.

Der aufmerksame Leser erhält durch das Martinsche Buch einen guten Überblick über das weit verzweigte Gebiet der optischen Instrumentenkunde. *F. Löwe.*

Die Kultur der Gegenwart, ihre Entwicklung und ihre Ziele. Herausgegeben von Prof. Paul Hinneberg. Physik, 2. Aufl. unter Red. von E. Lecher. Leipzig und Berlin 1925, B. G. Teubner. 8°. VIII, 849 S. m. 116 Abb. Geb. 36 M.

In der neubearbeiteten und erweiterten Auflage dieses Bandes der „Kultur der Gegenwart" wurde an dem dem Werk zugrunde liegenden, s. Zt. von E. Warburg festgelegten Plan, nichts geändert. Die Anlage des Werkes ist ebenso wie die Art der Darstellung dieselbe geblieben. In einer Reihe von reizvollen Einzeldarstellungen aus der Feder hervorragender Forscher, die sich nicht nur an den Physiker von Fach, sondern an jeden wissenschaftlich Gebildeten wenden, werden die modernen Forschungsmethoden der Physik und ihre Ergebnisse mitgeteilt. Dabei wird auf Vollständigkeit im Sinne eines Lehrbuches mit voller Absicht und Berechtigung verzichtet, nicht dagegen inbezug auf Vollständigkeit der Darstellung der Ideen, welche die Physik in unserer Zeit bewegen. Neu aufgenommen wurde, der in den letzten Jahren gewonnenen Bedeutung entsprechend, ein Abschnitt über Quantentheorie, Atombau und Spektrallinien von Kramers, desgleichen der Weiterentwicklung der Wissenschaft an manchen Stellen durch Änderungen und Zusätze Rechnung getragen. Die Neubearbeitung der Beiträge der inzwischen verstorbenen Mitarbeiter: H. Rubens (Wärmestrahlung), E. Dorn (Experimentelle Atomistik), F. Braun (Die drahtlose Telegraphie), J. Elster und H. Geitel (Entdeckungsgeschichte und Grundtatsachen der Radioaktivität), F. Hasenöhrl (Die Erhaltung der Energie und die Vermehrung der Entropie) wurden von den Herren Hettner, Przibram, Dieckmann, St. Meyer, E. Schweidler und H. Mache übernommen.

Zwei Abschnitte, die das besondere Interesse der Leser dieser Zeitschrift finden dürften seien aus dem reichen Inhalt des Buches hervorgehoben. Zunächst eine Arbeit über „Neuere Fortschritte der geometrischen Optik" von O. Lummer, mit Zusätzen von M. v. Rohr. Sie weicht von der üblichen, meist etwas trockenen Behandlung des Stoffes in vorteilhafter Weise ab und bringt manches Neue in anregender und fesselnder Darstellung. Den vielseitigen Inhalt lassen einige Kapitelüberschriften erkennen: Gaußsche Abbildung und Abbildung im Sinne der Wellenlehre, Erweiterung der Abbildungsgrenzen bei zentrierten Systemen, Sphärische Aberration und ihre Beseitigung, Arbeitsteilung zwischen Objektiv und Okular, Zweck und Bedeutung der Blenden, Bedeutung der Jenaer Gläser, Gullstrands Abbildungstheorie, deren Gesetze und Anwendungen, Sehen mit bewegtem Auge und perspektivisches Sehen, Brillen-Optik, die durch Geräte zu beidäugigem Gebrauch vermittelte Raumanschauung usw.

Ein interessanter Aufsatz von E. Warburg behandelt dann das „Verhältnis der Präzisionsmessungen zu den allgemeinen Zielen der Physik". Ausgehend von dem Nutzen der Präzisionsmessungen für die Technik und der Tatsache, daß Präzisionsarbeiten nicht selten zu wichtigen Entdeckungen geführt haben, wird die prinzipielle Bedeutung der Präzisionsmessungen für die Aufstellung der Naturgesetze dargelegt. Jede Erhöhung der Meßgenauigkeit macht mehr von dem Detail der Naturvorgänge der Beobachtung zugänglich. Als Gegenstände der Präzisionsmessungen werden unterschieden und behandelt: 1) Materielle Realisationen willkürlich definierter Werte (z. B. Dyne, Ohm, Volt), 2) Universelle Konstanten und Funktionen (z. B. Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes und Gravitationskonstante) und 3) Das unabsehbare Heer der Materialkonstanten, d. h. derjenigen Werte, welche die verschiedenen Substanzen in mechanischer, thermischer, optischer, elektrischer und magnetischer Beziehung charakterisieren.

Die deutsche Wissenschaft hat alle Ursache, auf ein Werk stolz zu sein, das die Beiträge einer großen Reihe berufenster Forscher über alle wesentlichen Zweige der Physik und über besondere im Brennpunkt des Interesses stehende physikalische Fragen nicht selten in vollendeter Darstellung, immer in anregender Form vereinigt. *Werner.*

Felix Auerbach, Das Zeisswerk und die Carl Zeiss-Stiftung in Jena, ihre wissenschaftliche, technische und soziale Entwicklung und Bedeutung, 5. Aufl. Jena 1925, G. Fischer. Gr. 8°. 258 S. m. 252 Abb. und einem Bildnis von Abbe.

Nach einer Pause von nahezu einem Jahrzehnt ist die von den Interessenten bereits ungeduldig erwartete, durchweg stark um-, teilweise auch neubearbeitete fünfte Auflage des Buches erschienen. Es bringt nach kurzer geschichtlicher Einleitung zunächst eine übersichtliche Zusammenstellung von

bewährten älteren und neueren, bislang nur in Sonder-Verzeichnissen und gelegentlich in Zeitschriften beschriebenen Erzeugnissen dieses hervorragenden Unternehmens. Neben Konstruktionen, die ihre Entstehung und Entwicklung im wesentlichen den Bedürfnissen des Krieges verdanken (Zielfernrohre und Richtgerät, Entfernungsmesser, Signalgeräte, Scheinwerfer und Tripelspiegel, Lichtbildgerät, Auto-Abt.), stehen solche, welche der Umstellung des Werkes auf die völlig veränderten Verhältnisse der Nachkriegszeit entsprungen sind (Feinmeß-Abt., Abt. für Brillen und für medizinisch-optische Instrumente). Weitere Kapitel aus dem reichen Inhalt sind: Die mikroskopische Abt., Projektion und Mikrophotographie, die photographische, Astro-, Erdfernrohr-, Meß- und geodätische Abteilung. Besonderen Reiz bietet die Lektüre der Abschnitte über Wirtschaft und Wohlfahrt, aus denen hervorgeht, daß das zugleich wirtschaftliche und soziale Gebilde der Zeiss-Stiftung, dieser von Abbe geschaffene neuartige und einzigartige Organismus, sich in den Stürmen des Weltkrieges und der Revolution bewährt hat. *Wr.*

A. Neuburger, Echt oder Fälschung? Die Beurteilung, Prüfung und Behandlung von Altertümern und Kunstgegenständen. Ein Handbuch für Museumsleiter, Sammler, Liebhaber, Händler, Chemiker usw. Leipzig, R. Voigtländer. 8°. 207 S. mit 116 Abb. auf 46 Tafeln. Ganzleinen 8.— Mk.

Das vorliegende Buch berührt das Arbeitsgebiet dieser Zeitschrift, weil es zeigt, in welchem Umfang technisch-wissenschaftliche Untersuchungsmethoden zur Feststellung von Fälschungen aller Art Verwendung finden, und somit geeignet ist, dem Präzisionstechniker Hinweise für den Ausbau der hier benötigten Instrumente und Sonderapparate zu geben.

Der Inhalt des Buches zeugt von großer Sachkenntnis und Vielseitigkeit auf dem schwierigen Gebiet der Fälschungen, von denen kaum eine Kunstgattung verschont wird. Dabei sucht die Darstellung zwischen den zwei sich häufig streitenden Richtungen zu vermitteln, die man die subjektive und objektive nennen könnte, die künstlerischen Sachverständigen und die Naturwissenschaftler.

Für unseren Leserkreis sei nur verwiesen auf die Anwendung chemischer und mikro-chemischer Methoden, auf die Benutzung der Mikroskopie, Ultramikroskopie und der Polarimetrie, der Mikrophotographie und Metallographie, auf die Röntgenuntersuchung und Radiumbehandlung, auf die Verwendung von Volumenometern, Feinmeßwerkzeugen, ja Zerreißmaschinen für das große Gebiet der Kunsterzeugnisse im weiteren Sinne: Gemälde, Graphiken, Bildhauerarbeiten, Handschriften, Druckwerke, Keramiken, Kunstwerke aus Glas und Email, Edelmetalle (Münzen und Plaketten), Bronze, Zinn, ferner Möbel, Musikinstrumente, Gewebe, Perlen und Edelsteine.

Die Darstellung ist sehr fesselnd und durch zahlreiche und gute Abbildungen unterstützt. Das ausführliche Namen- und Sachverzeichnis gibt die Möglichkeit, sich rasch über irgend ein Gebiet Auskunft zu holen. *G.*

F. Rapatz, Die Edelstähle. Ihre metallurgischen Grundlagen. Berlin 1925, Julius Springer. 8°. VI, 219 S. mit 93 Abb. Geb. 12.— Mk.

Der Verfasser hat mit der Herausgabe des vorliegenden Buches nicht nur der Maschinen- und Schwerindustrie, sondern auch der Feinmechanik einen schätzbaren Dienst erwiesen, indem er seine außerordentlichen Erfahrungen auf dem Gebiet der Edelstähle, die er als Leiter der Versuchsanstalt im Stahlwerk Düsseldorf Gebr. Böhler & Co. A. C. gewonnen hat, weiten Kreisen zugänglich macht.

In gedrängter Form, aber mit größter Vollständigkeit und wissenschaftlicher Strenge vermittelt das Buch einen klaren Überblick und berücksichtigt dabei auch gerade jene besonderen Eigenschaften der neuen Stahlsorten wie Wärmeausdehnung, Maßbeständigkeit beim Härten, magnetisches Verhalten, Rost- und Säurebeständigkeit, die für die Sonderzwecke der Feintechnik häufig in Frage kommen. Ein Abschnitt über die Gefügelehre ist bei aller Kürze vorzüglich geeignet, für dieses Gebiet ausreichendes Verständnis zu gewinnen. Einem weiteren Kapitel über die Wärmebehandlung folgt eine ausführliche Beschreibung der Edelstähle, nach ihren Legierungsmetallen geordet. Auch das wichtige Schneidmetall (Stellit), das als Kobalt-Chrom-Wolfram-Legierung Eisen nur als Verunreinigung enthält und somit nicht zu den „Stählen“ rechnet, ist hier behandelt.

Weitere Abschnitte über die Erzeugung der Edelstähle, über ihre Prüfung und ihre Fehler schließen sich an. Wertvoll sind auch die besonders zahlreichen Literaturnachweise.

Die Ausstattung des Buches ist vorzüglich. Die vielen instruktiven Gefügebilder haben auf dem verwendeten Papier besonders gute Wiedergabe erfahren. *G.*

Zuschriften.

Bemerkungen zu dem Aufsatz von Herrn Dr. D. Pékar

in dieser Zeitschrift ***45.*** *S. 486. 1925.*

In seinem obigen Artikel befaßt sich Herr Dr. D. Pékar eingehend mit der Entwicklung, Empfindlichkeit und Verläßlichkeit der Eötvösschen Originaldrehwagen. Er führt aus, daß an den ungarischen Instrumenten mannigfache Verbesserungen ausgeführt wurden. Insbesondere wird mitgeteilt, daß entsprechende Abänderungen des Gehänges und des ganzen Gehäuses ausgeführt worden sind, um den Einfluß äußerer Störungen zu beheben, die Torsionsdrähte nach eigenartigen Verfahren präpariert werden und das Eötvös-Institut über besondere Laboratoriums-Untersuchungsmethoden verfügt, mit denen man die Apparate prüfen und für störende Einflüsse unempfindlich machen kann. Da es Herr Dr. D. Pékar indessen „für überflüssig hält, in einer besonderen Tabelle zu beweisen, daß die ungarischen Apparate wesentlich vervollkommnet wurden" und abgesehen von historischen Mitteilungen sowie den obigen Andeutungen jede nähere Angabe vermeidet, welche in instrumenteller Hinsicht die Leser dieser Zeitschrift interessieren könnte, so wäre es nicht erforderlich, auf seine Ausführungen einzugehen, wenn sie nicht eine Stellungnahme zu meinem Aufsatz „Die Brauchbarkeit von Drehwagen im Felde" *(diese Zeitschr.* ***45.*** *S. 89. 1925)* enthielten.

Zunächst äußert sich Herr Dr. D. Pékar zu meiner Berechnung der sog. effektiven Empfindlichkeit und führt aus, daß man diese bei visueller Ablesung in Ausschlägen für $^1/_{10}$ Sek. ausdrücken müsse. Das ist ohne weiteres selbstverständlich. Herr Dr. D. Pékar spricht sich das Urteil über seine bezüglichen längeren Ausführungen selbst durch die Befürchtung, daß sie als „Belehrungen über allgemein bekannte Dinge eine Zurückweisung erfahren könnten". Dem von mir angegebenen Wert liegt die derzeitige Angabe von Eötvös über die Größe von D in 0,1 Skalenteilen zugrunde, hierin ist somit die damalige Genauigkeit der Ablesevorrichtung bereits enthalten. Meine Angabe der effektiven Empfindlichkeit in 0,1 Millimeter bezieht sich lediglich auf photographische Registrierung, während für visuelle Ablesung 0,1 Skalenteil maßgebend war, was ohne weiteres aus der zur Tabelle gehörigen Fußnote 2 hervorgeht, die Herrn Dr. D. Pékar offenbar entgangen ist. — Übrigens könnte man auch bei photographischer Registrierung die Genauigkeit leicht noch weiter treiben, wenn man mit Lupe oder Mikroskop ablesen würde.

Die Größe der Empfindlichkeit ist aber, wie ich bereits a. a. O. ausführte, nicht das Wesentlichste für eine Drehwage und die Empfindlichkeit von $0{,}9 \cdot 10^{-9}$ C. G. S. des Schweydarschen Apparates mehr als ausreichend. Unter diesen Umständen ist es unverständlich, warum Herr Pékar soviel Wert darauf legt, daß sein Modell vom Jahre 1924 eine noch größere Empfindlichkeit hat, wo er selbst am Anfang seiner Arbeit nur eine Genauigkeit von $1 \cdot 10^{-9}$ C. G. S. verlangt und auch späterhin ausführt, daß die Terrainwirkungen sich weniger genau als die reinen Messungsergebnisse berechnen lassen.

Was die Zuverlässigkeit der Beobachtungen betrifft, so ist in meiner Veröffentlichung mit keinem Worte gesagt, daß der mittlere Fehler für den Vergleich der mit den einzelnen Instrumenten genommenen Beobachtungsreihen eine maßgebende Größe ist. Daß der m. F. von der Anzahl der Einzelbeobachtungen abhängt, ist jedermann bekannt; die maximale Abweichung vom Mittelwerte, die Herr Pékar vorzieht, ist aus den Tabellen ohne weiteres zu entnehmen. Herr Dr. D. Pékar vergleicht das alte Eötvössche Instrument mit dem neuen Schweydarschen und kommt zu dem Resultat, daß das erstere beinahe so gut sei wie das letztere, ohne indessen zu berücksichtigen, daß von dem Eötvösschen Instrument Nachtbeobachtungen in Ungarn und von dem Schweydar Bambergschen Tagaufnahmen in den Tropen angeführt sind. Im übrigen muß man Herrn Dr. D. Pékar recht geben, wenn er den Vergleich einer Eötvösschen Beobachtungsreihe aus dem

Jahre 1906 mit einer Schweydarschen aus dem Jahre 1923 bemängelt. Indessen wäre es wesentlich leichter, gleichaltrige Messungen zu vergleichen, wenn sich Herr Dr. D. Pékar nicht nur immer auf allgemeine Andeutungen über die Verläßlichkeit seiner neueren Instrumente beschränken, sondern ebenso, wie es in Deutschland geschieht, mit zahlenmäßigen Angaben hervortreten würde.

Was zum Schluß den Nachtrag zu meinem obengenannten Aufsatz betrifft, so übersieht Herr Dr. D. Pékar, daß die Streitfrage über seine Auswertung der von Herrn Dir. Gornick veröffentlichten Zeichnungen nicht von mir, sondern von ihm selbst dadurch wieder aufgerollt worden ist, daß er in der „Stella" behauptete, er habe „zahlenmäßig die Unbrauchbarkeit der Explorationswage nachweisen können und die Deutschen hätten gegen seine Kritik heftig protestiert", den Inhalt dieser Gornick-Schweydarschen Zurückweisung dagegen verschwieg — eine Bemerkung, die außerdem bei den Lesern den Eindruck erwecken mußte, es handele sich dabei um ein Schweydar-Bambergsches Instrument, da es ziemlich bekannt ist, daß die „Exploration" im Augenblick etwa zehnmal soviel Schweydar-Bambergsche als ungarische Originalinstrumente besitzt, trotzdem die ersteren angeblich so häufig versagen.

Das von mir erwähnte Fechnersche Instrument ist, soweit mir bekannt, nicht identisch mit der von Herrn Gornick damals benutzten Drehwage, sondern wesentlich älter, da es sich, bevor ich meine Messungen im Jahre 1922 damit ausführte, bereits längere Zeit in anderen Händen befand. Es erübrigt sich somit, auf Herrn Dr. D. Pékars Vergleich seiner Auswertung der von Herrn Dir. Gornick veröffentlichten Zeichnungen mit meinen Beobachtungsergebnissen einzugehen. Im übrigen habe ich eingehend ausgeführt, durch welche Konstruktionsfehler die von mir beobachteten Unstimmigkeiten bedingt waren; soweit dies möglich war, wurde außerdem die Abdichtung in der Folge verbessert.

Warum endlich ein deutscher Leser „nicht befugt" sein soll, sich auf eine wenn auch in ungarischer Sprache geschriebene wissenschaftliche Veröffentlichung — selbst wenn sie nur von einem kleinen Kreise gelesen wird — zu beziehen oder eine dort gemachte Bemerkung, wie Herr Dr. D. Pékar sagt, auszugraben, ist mir unverständlich. Abgesehen davon, daß Herr Dr. D. Pékar eine weitere Erklärung vermeidet, scheint es mir bei einem derartigen Standpunkt das beste zu sein, auf eine weitere Diskussion zu verzichten. Dr. C. Heiland, z. Z. New-York.

Monochromator.

Im Referat über den von mir konstruierten Monochromator (*diese Zeitschrift* **45.** *S. 259. 1925*) wird als Nachteil des von C. Leiß vorgeschlagenen Monochromators erwähnt, daß dieser eine genau gleiche Drehung der zwei Prismen erfordert.

Leiß bemerkt hierzu in *dieser Zeitschrift* **45.** *S. 363. 1925*, daß es sehr selten vorkomme, daß die zwei Prismen völlig identisch seien, und daß man sie nur über korrespondierende Winkel zu drehen brauche.

Hierzu möchte ich bemerken, daß ich in meiner Originalarbeit (*Revue d'Optique* **2.** *S. 57. 1923*) nur über *„angles correspondants"* spreche, und daß dieser Ausdruck vom Referenten irrtümlich durch „genau gleiche Winkel" übersetzt worden ist.

Trotzdem ist es einerlei, ob die Prismen über genau gleiche Winkel gedreht werden müssen oder bloß über korrespondierende Winkel. Wenn die Stellung des zweiten Prismas nicht ganz genau der Stellung des ersten entspricht, wird aus dem Monochromator gar nichts oder nur ein Teil des Lichtes der verlangten Wellenlänge treten. Für genaue Intensitätsmessungen ist also der Monochromator nach Leiß schwer zu verwenden. Bei dem von mir vorgeschlagenen Monochromator müssen die Prismen nur einmal genau gestellt werden, und sind dann für alle Wellenlängen richtig, bei dem Monochromator nach Leiß muß man diese Einstellung bei jeder Änderung der Wellenlänge wiederholen.

P. H. van Cittert,
Phys. Inst. der Universität Utrecht.

Nachdruck verboten.

Verantwortlich für die Redaktion: Oberregierungsrat Dr. F. Göpel in Charlottenburg. — Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Kuratorium:

Prof. Dr. **R. Straubel**, Prof. Dr. **F. Weidert**, geschäftsführendes Mitglied.

Schriftleitung: Oberregierungsrat Prof. Dr. **F. Göpel** in Charlottenburg-Berlin.

XLV. Jahrgang. **Dezember 1925.** Zwölftes Heft.

Inversoren.

Von

Dr. **Otto v. Gruber** in Jena.

Als Inversoren werden mechanische Vorrichtungen bezeichnet, die dazu dienen, reziproke Beziehungen darzustellen. Sie können daher zur Auflösung der Linsengleichung verwendet werden. Eine Reihe von Konstruktionen dieser Art ist bekannt. v. Dyck führt im „Katalog mathematischer Instrumente, München 1896", die Inversoren von Peaucellier und Hart an. Bekannt sind ferner Vorrichtungen, die auf die Beziehungen zwischen Höhe und Hypotenusenabschnitten im rechtwinkligen Dreieck gegründet sind, und groß ist die Zahl von Vorrichtungen, welche die Linsengleichung durch Parallelverschiebung oder Rotation geeigneter Kurven erfüllen. Eine vollständige Aufzählung ist an dieser Stelle weder möglich noch beabsichtigt, es sollen vielmehr typische Konstruktionen unter einheitlichen Gesichtspunkten betrachtet und ihre Reihe in verschiedener Richtung erweitert werden.

Formen der Linsengleichung. (Fig. 1.)

Die Linsengleichung wird im allgemeinen entweder mit Beziehung auf die Abstände a, b zweier konjugierter Punkte von den Hauptebenen als

$$\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f} \qquad 1)$$

verwendet oder mit Beziehung auf die Abstände a', b' zweier konjugierter Punkte von den Brennebenen als

$$a'\cdot b'=f^2. \qquad 2)$$

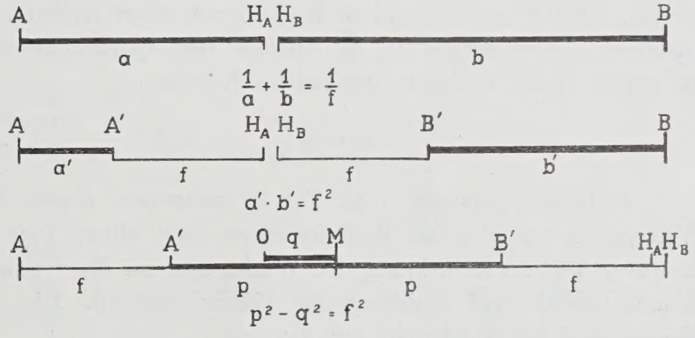


Fig. 1. Formen der Linsengleichung.

Hierin bedeutet a den Objektabstand von der objektseitigen Hauptebene, a' den Objektabstand von der objektseitigen Brennebene, b und b' die entsprechenden Bildabstände von der bildseitigen Haupt- bzw. Brennebene und f die Brennweite. Zwischen beiden Abständen bestehen je die Beziehungen

$$a=a'+f; \qquad b=b'+f. \qquad 3)$$

Sämtliche bisher bekannten Inversoren stützen sich auf die eine oder andere der beiden Formen der Linsengleichung und haben die gemeinsame Eigentümlichkeit, die Größen a und b oder a' und b' unmittelbar zu erzeugen. Dies geschieht ausnahmslos durch eine Translation oder eine Rotation passend gewählter Kurven.

Eine neue Form der Linsengleichung und damit eine neue Konstruktionsmöglichkeit für Inversoren wird dadurch erhalten, daß man von der Tatsache Gebrauch macht, daß jedes Produkt auch als Differenz zweier Quadrate dargestellt werden kann:

$$p^2 - q^2 = f^2 . \qquad 4)$$

Hierbei wird die Linsengleichung nicht mehr in Beziehung auf Haupt- bzw. Brennebenen benützt, sondern auf eine Symmetrieebene zwischen Objekt- und Bildebene bezogen. — Sobald der Abstand der Hauptebenen der Linse nicht vernachlässigt werden kann, denke man sich Bild oder Objekt mit der zugehörigen Hauptebene, um diesen Betrag in Richtung auf die zweite Hauptebene hin verschoben und füge den Abstand als Konstante am entsprechenden Ende des Inversors wieder an. — Es bedeutet p den um die Brennweite verminderten Abstand des Objekts und des Bildes von dieser Symmetrieebene, q den Abstand der Linse. Zwischen den neuen und den bisherigen Größen besteht die Beziehung:

$$p = \frac{a' + b'}{2}; \qquad q = \frac{a' - b'}{2}. \qquad 5)$$

Formen von Inversoren.

Die bekannten Inversoren können auf drei Grundformen zurückgeführt werden:

I. Translatorische Inversoren.

II. Polare Inversoren.

III. Exzentrische Inversoren.

Translatorische Inversoren (vgl. Fig. 2) entstehen durch Auftrag zusammengehöriger Wertepaare von a, b oder a', b' als Ordinaten von einer Abszissenachse aus. Durch die Wahl des Parameters für die Zuordnung der einzelnen Wertepaare zu den verschiedenen Abszissen ist die Form der beiden Kurven bestimmt. Sind Objekt- und Bildebene in der Ordinatenrichtung verschiebbar, so erfolgt ihre richtige Einstellung durch zwei Mitnehmer, die längs der in der Abszissenrichtung verschobenen Kurven gleiten. Denkt man sich diese Kurven auf einem Zylinder mit zur Ordinatenrichtung paralleler Achse aufgerollt, so entsteht der Spindelinversor. Für einen Parameter t ist wegen 2) die Steigung der beiden Kurven:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{d a'}{dt}; \qquad \operatorname{tg} \beta = - \frac{f^2 \operatorname{tg} \alpha}{a'^2}. \qquad 6)$$

Polare Inversoren (vgl. Fig. 3) entstehen durch Auftrag zusammengehöriger Wertepaare von a', b' als Radienvektoren von einem Pole aus. Die Wahl des Parameters φ für die Zuordnung der Wertepaare zu den verschiedenen Polarwinkeln bestimmt Gestalt und Steigung der Kurvenscheiben. Die Steigungen für die beiden Kurven sind mit Rücksicht auf 2):

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{d a'}{a' \, d\varphi}; \qquad \operatorname{tg} \beta = - \operatorname{tg} \alpha . \qquad 7)$$

Die richtige Einstellung von Bild- und Objektebene erfolgt durch zwei Mitnehmer, die von den rotierenden Kurven in radialer Richtung verschoben werden.

Exzentrische Inversoren (vgl. Fig. 4) entstehen durch Auftrag zusammengehöriger Wertepaare von a', b' als Tangentenabschnitte an Kreise. Die Wahl des Parameters φ für die Zuordnung bestimmter Wertepaare zu bestimmten Berührungspunkten ist wiederum maßgebend für Form und Steigung der Kurven. Die Steigungen der Kurven sind:

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{d\,a'}{a'\,d\varphi} - \frac{r_1}{a'}\,; \qquad \operatorname{tg}\beta = -\operatorname{tg}\alpha - \frac{b'\,r_1 - a'\,r_2}{f^2}\,. \tag{8}$$

Bei Drehung der Kurvenscheiben werden die richtigen Einstellungen von Objekt und Bild durch zwei in tangentialer Richtung an den Kreis verschiebbare Mitnehmer erzielt.

Zu diesen drei Grundformen sind Varianten in der Weise möglich, daß eine Kurve für die a' eines Types mit einer Kurve für die b' eines anderen Types kombiniert werden kann, wenn für beide Kurven gleichwertige Parameter gewählt wurden.

Neue Inversoren sind innerhalb der angeführten drei Grundformen bekannter Inversoren möglich, indem besondere Kurvenformen durch die Wahl des Parameters erzeugt werden. Die drei Grundformen erschöpfen jedoch die möglichen Formen von Inversoren keineswegs. Neue Inversoren sind vielmehr auch dadurch herstellbar, daß zusammengehörige Wertepaare $a'\,b'$ oder bestimmte Funktionen derselben als Tangentenabschnitte an passend gewählte Kurven aufgetragen werden und die Einstellung von Objekt und Bild durch Abwicklung von Bändern von diesen Kurven erfolgt. Als neue Form entsteht so die des Bandinversors (vgl. Fig. 18). Eine weitere neue Form ist durch Form 4) der Linsengleichung bedingt, die den Beziehungen zwischen den Seiten eines rechtwinkligen Dreiecks Rechnung tragen muß und daher als Pythagoras-Inversor (vgl. Fig. 19 und 21) bezeichnet werden möge.

Bekannte Inversoren.

A. Hyperbolischer Typ.

Der hyperbolische Inversortyp entsteht durch Wahl des Parameters

$$t = k \cdot a' \quad \text{bzw.} \quad \varphi = k \cdot a'\,. \tag{9}$$

Durch diese Wahl wird der zugehörige translatorische Inversor zum

1. Hyperbel-Inversor. (Fig. 2.)

Die Kurve der a' ist eine Gerade mit der Steigung $\frac{1}{k}$, die Kurve der b' eine Hyperbel mit der Steigung $-\frac{f^2}{f \cdot a'^2}$.

Wegen des raschen Ansteigens der Hyperbel ist der Anwendungsbereich dieses Inversors beschränkt.

Hierunter fällt der Inversor der *Société d'optique et de mécanique de haut précision*, Französ. Pat. 571817 v. 30. 12. 1922.

Eine Variante dieses Inversors besteht darin, daß man die Kurve der a' auf einen Zylinder aufwickelt und durch die Umdrehungen des Zylinders die

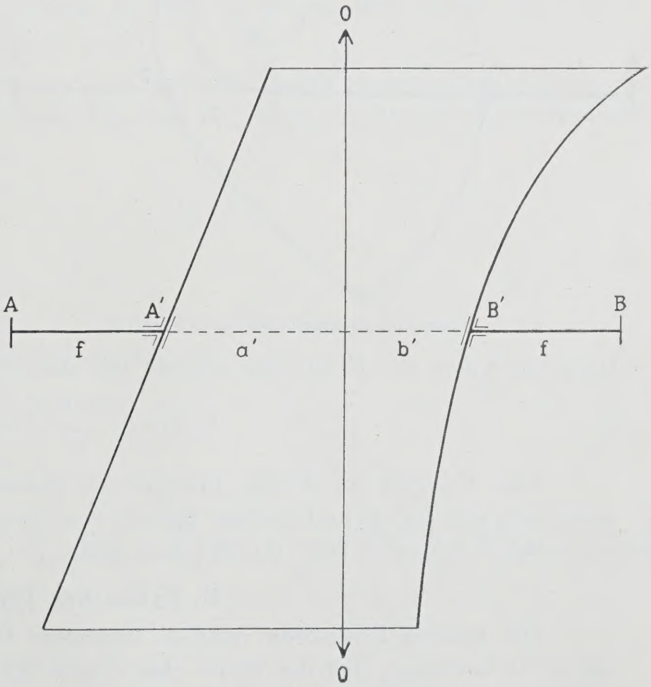


Fig. 2. Hyperbel-Inversor (Translatorische Form).

Verschiebung der Hyperbel bewirkt. Die a' werden also durch eine einfache Schraube eingestellt, die b' durch eine Translationsbewegung der Hyperbel.

Vgl. Kilian, DRP. 237380 v. 4. 12. 1908.

Durch den gewählten Parameter wird der polare Inversor zum

2. Hyperbolischen Scheibeninversor (Fig. 3).

Die Kurve der a' stellt eine Archimedische Spirale mit der Steigung $\frac{1}{k \cdot a'}$ dar, die Kurve der b' ist eine hyperbolische Spirale mit der Steigung $-\frac{1}{k \cdot a'}$.

Eine Variante zu diesem Inversor ist dadurch möglich, daß man die Schraube vom Inversor 1 mit der hyperbolischen Spirale kombiniert.

Vgl. Butler, U.S.A. Pat. 1142767 v. 8. 6. 1915.

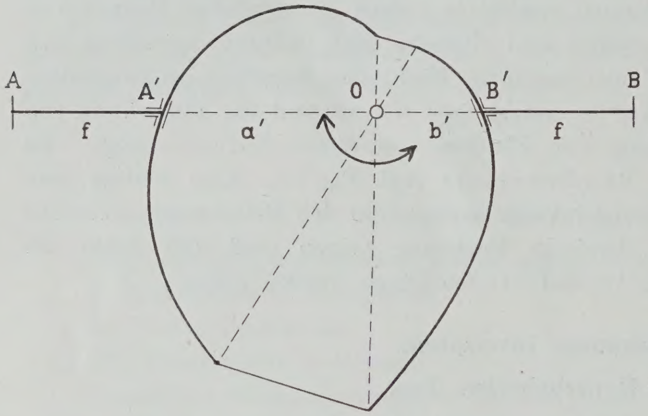


Fig 3. Hyperbolischer Scheibeninversor. (Polare Form.)

Durch den gewählten Parameter wird der exzentrische Inversor zum

3. Exzentrisch-hyperbolischen Scheibeninversor (Fig. 4).

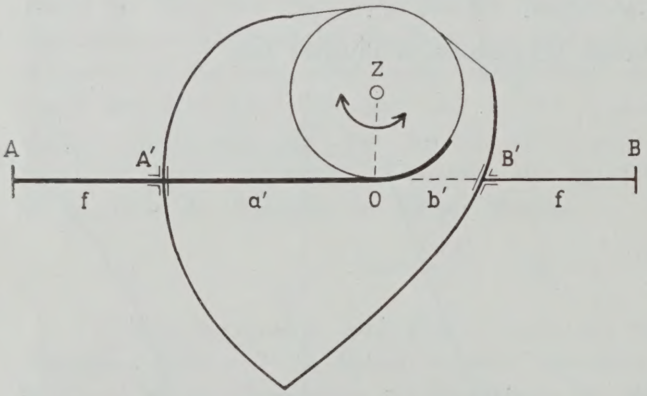


Fig. 4. Exzentrisch-Hyperbolischer Scheibeninversor.

Die Steigung der Kurve der a' ist

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{1}{k \cdot a'} - \frac{r_1}{a'}. \qquad 10)$$

Wählt man $r_1 = 1/k$, so geht 10) über in $\operatorname{tg} \alpha = 0$. Die Spirale der a' wird dadurch zur Kreisevolvente und kann als solche stets neu erzeugt werden, indem man entweder ein Band von einem Zylinder mit dem Radius r_1 abwickeln läßt, oder eine Zahnstange durch ein Zahnrad mit entsprechendem Radius treibt. Für den gleichen Radius r_1 wird die Kurve der b' zu einer Spirale mit der Steigung

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{(a' - b')\, r_1}{f^2}. \qquad 11)$$

Eine Variante zu diesem Inversor ist dadurch möglich, daß man die Kreisevolvente mit der hyperbolischen Spirale von Inversor 2 kombiniert.

Vgl. C. P. Goerz, DRP. 181829 v. 4. 3. 1906.

B. Zyklischer Typ.

Die polaren Inversoren nehmen besondere Formen an, wenn man den Parameter so bestimmt, daß die Kurve der a' zum Kreis wird. Dabei kann der Pol des Inversors innerhalb oder außerhalb des Kreises liegen. Gleichzeitig bildet aber auch

die Kurve der b' einen Kreis. Sind f_1 und f_2 zwei zusammengehörige Werte, so daß $f_1 f_2 = f^2$, sind weiter r_1 und r_2 die Radien der beiden Kreise und e_1 und e_2 die Abstände ihrer Mittelpunkte vom Pol, so sind die Kurven der a' und b' Kreise, wenn der Parameter

$$\varphi = \arc\cos \frac{a'^2 \mp f_1^2}{2\,a' \cdot e_1}, \qquad 12)$$

wobei

$$r_1^2 = e_1^2 \pm f_1^2, \qquad r_2 = r_1 \frac{f_2}{f_1}, \qquad \frac{e_1}{f_1} = \frac{e_2}{f_2}.$$

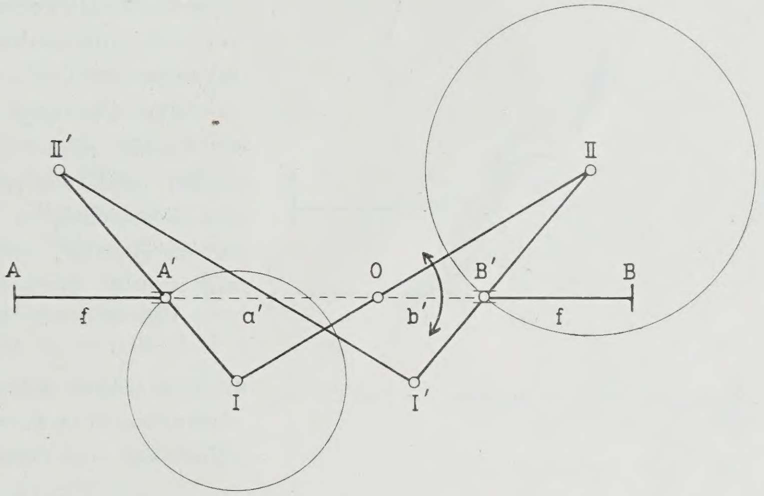


Fig. 5. Zyklischer Zweischeibeninversor mit Außenachse.

In 12) gilt das obere Vorzeichen, wenn der Pol im Innern, das untere Vorzeichen wenn er außerhalb der beiden Kreise liegt.

Für die Konstruktion von Inversoren nach diesem Typ ist es nicht nötig, volle Kreisscheiben um den Pol rotieren zu lassen, sondern es genügt, die Kreislinien unmittelbar erzeugen zu lassen. Dies geschieht am einfachsten dadurch, daß man die Kreismittelpunkte nur rotieren läßt und damit bewegliche Radialglieder verbindet, deren freie Enden auf der Geradführung für a', b' gleiten. Eine solche Geradführung kann in verschiedener Weise erzeugt werden, indem man je zwei Inversoren dieses Types in geeigneter Weise verbindet.

Die verschiedenen bekannten Inversoren dieses Types unterscheiden sich durch die Lage des Poles, die Wahl von r_1 und r_2 und die Kombination zur Geradführung.

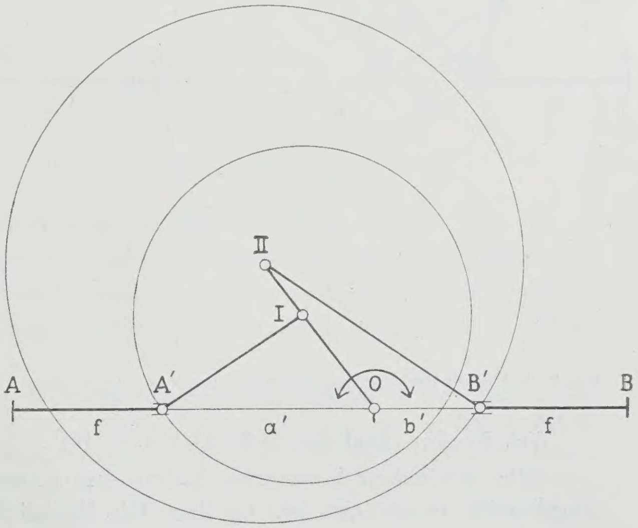


Fig. 6. Zyklischer Zweischeibeninversor mit Innenachse von Dutert.

4. Zyklischer Zweischeibeninversor mit Außenachse
(Inversor von Hart) (Fig. 5).

Der Pol liegt außerhalb der beiden Kreise, r_1 und r_2 werden entsprechend dem beabsichtigten Wirkungsbereich gewählt, die Geradführung wird entweder durch Schlitten oder durch Angliederung eines symmetrisch gleichen Inversors erreicht.

Vgl. Dyck, Katalog mathematischer Instrumente, München 1896; Becker, U. S. A. Pat. 1142295 v. 8. 6. 1915.

5. Zyklischer Zwischenscheibeninversor mit Innenachse
(Inversor von Dutert) (Fig. 6).

Der Pol liegt im Innern der beiden Kreise, r_1 und r_2 werden wiederum entsprechend dem beabsichtigten Wirkungsbereich gewählt, die Geradführung erfolgt durch Schlitten.

Vgl. Dutert, DRP. 261904 v. 23. 6. 1911.

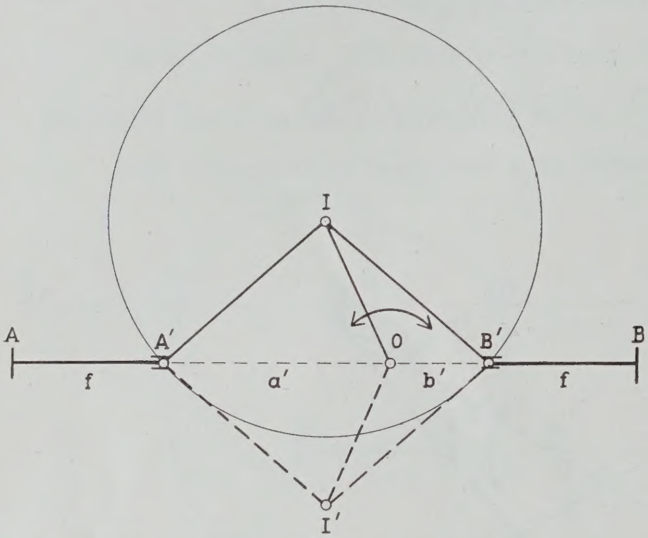


Fig. 7. Zyklischer Einscheibeninversor mit Innenachse von Peaucellier.

6. Zyklischer Einscheibeninversor mit Innenachse
(Inversor von Peaucellier) (Fig. 7).

Dieser Inversor ist ein Spezialfall des vorhergehenden, der für $r_1 = r_2$ erhalten wird. Dadurch fallen die beiden Kreise in einen einzigen zusammen. Die Geradführung wird durch Angliederung eines symmetrisch gleichen Inversors erhalten.

Vgl. Dyk, Katalog mathematischer Instrumente, München 1896.

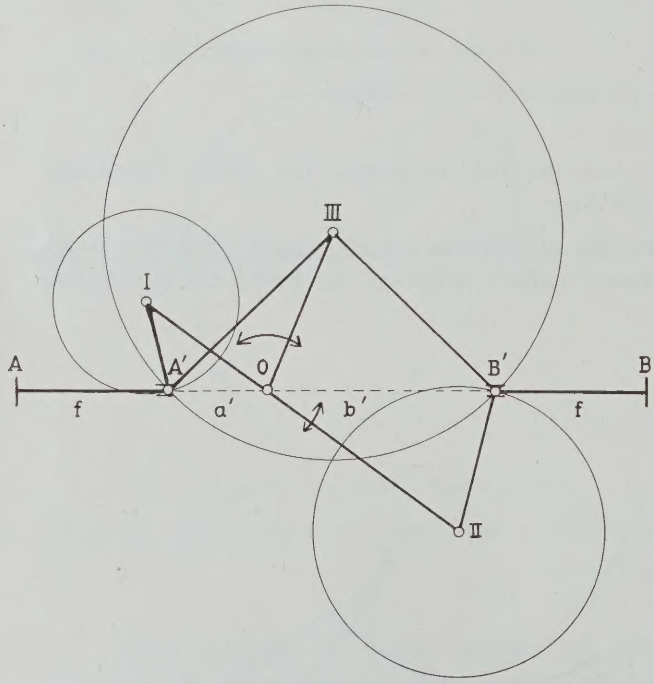


Fig. 8. Zyklischer Dreischeibeninversor mit Innen- und Außenachse von Becker.

7. Zyklischer Dreischeibeninversor mit Innen- und Außenachse
(Inversor von Becker) (Fig. 8).

Der Inversor wird erhalten, indem man die Geradführung durch Kombination eines Inversors 4 mit einem Inversor 6 erzeugt.

Vgl. Becker, Engl. Pat. 24292/11 v. 1. 11. 1911.

Alle zyklischen Inversoren haben den gemeinsamen Mangel, daß ihr Anwendungsbereich beschränkt ist. Er liegt mit Rücksicht auf eintretende Selbsthemmung im allgemeinen zwischen den Vergrößerungen 0,42 und 2,41.

C. Winkelhebeltyp.

Die exzentrischen Inversoren erhalten eine besonders einfache Gestalt, sobald man den Parameter so wählt, daß die Kurven zu Geraden werden. Sind f_1 und f_2 zwei zusammengehörige Werte, so daß $f_1 f_2 = f^2$, und wählt man den Parameter so, daß

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{a'}{f_1}, \tag{13}$$

so liegen die Endpunkte der Tangentenabschnitte a' an den Kreis mit dem Radius f_1 auf einer Geraden durch das Rotationszentrum. Diese Gerade hat wegen 8) die Steigung $\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} \varphi$. Die Endpunkte der b' liegen als Tangentenabschnitte an einem Kreis mit dem Radius f_2 ebenfalls auf einer Geraden durch das Rotationszentrum. Wegen 8) hat diese Gerade die Steigung $\operatorname{tg} \beta = -\operatorname{ctg} \varphi$. Die beiden Geraden schließen also einen rechten Winkel ein.

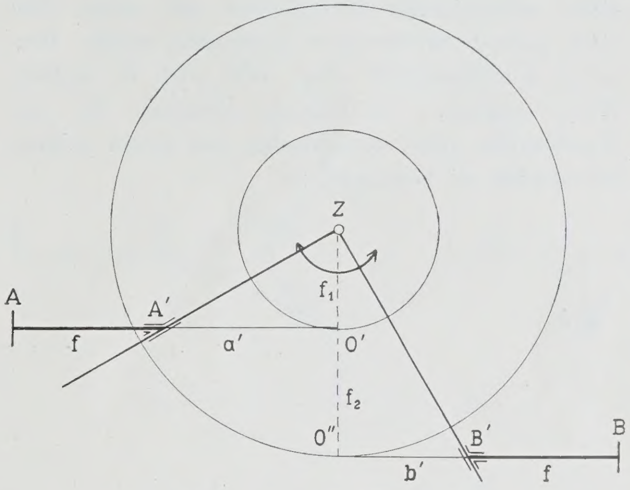


Fig. 9. Allgemeiner Winkelinversor.

Die verschiedenen Ausführungsformen des Winkelhebeltypes unterscheiden sich durch die Wahl von f_1 und f_2.

8. Winkelinversor (Fig. 9).

Die zusammengehörigen Wertepaare a' b' werden bei Rotation eines rechten Winkels um seinen Scheitel durch seine beiden Schenkel auf zwei untereinander parallelen Geraden abgeschnitten, die vom Scheitel die Abstände f_1 und f_2 haben.

Für $f_1 = f_2 = f$ fallen die beiden Geraden in eine einzige zusammen. Der Inversor zeigt die Beziehungen für Hypotenusenabschnitte im rechtwinkligen Dreieck (Fig. 10).

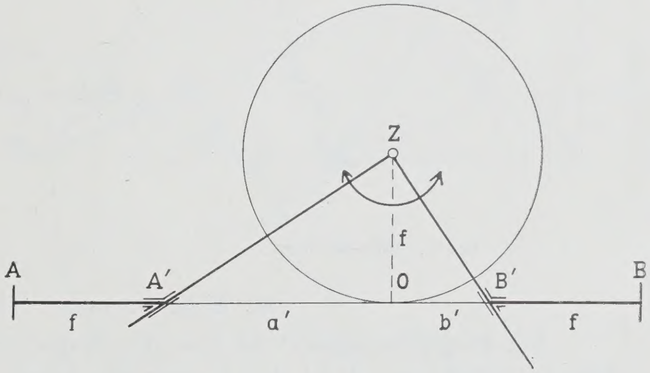


Fig. 10. Einfacher Winkelinversor.

Ein Vorteil des Winkelinversors ist, daß er in einfacher Weise für Linsen verschiedener Brennweite eingestellt werden kann. Sein Hauptmangel liegt darin, daß er bei dem Übergang von Vergrößerung zu Verkleinerung oder umgekehrt zu Selbsthemmung Anlaß gibt.

Vgl. Carpentier, DRP. 102004 v. 20. 6. 1897. Becker, Engl. Pat. 29701/12 v. 24. 12. 1912; U. S. A. Pat. 1178477 v. 4. 4. 1916; U. S. A. Pat. 1190214 v. 4. 7. 1916. Ernemann, DRGM. 655733 v. 23. 10. 1916. Cook, Engl. Pat. 12734/04 v. 6. 6. 1904; U. S. A. Pat. 895968 v. 11. 8. 1908. Holst, U. S. A. Pat. 1029295, 1029296, 1029297 v. 11. 6. 1912; U. S. A. Pat. 1051997 v. 4. 2. 1913. Kilian, DRP. 237380 v. 4. 12. 1908. Müller, U. S. A. Pat. 1365184 v. 11. 1. 1921. Print, DRP. 253956 v. 22. 6. 1909.

9. Holst-Inversor (Fig. 11).

Der Holst-Inversor entsteht aus dem Winkelinversor dadurch, daß man im Falle $f_1 = f_2 = f$ die beiden Geraden, auf denen die zusammengehörigen Werte abgeschnitten werden, nicht zusammenfallen läßt, sondern in einen rechten Winkel stellt. Gleichzeitig muß dann der rechte Winkel zu einem geraden doppelarmigen Hebel gestreckt werden.

D. Kombinationstypen.

Bereits bei Inversor 3 war eine Variante erwähnt worden, die darin bestand, daß ein Teil einer exzentrischen Inversorform mit einem Teil einer polaren Inversorform kombiniert wurde. Derartige Kombinationen sind auch noch in anderer Weise möglich. Als typische Beispiele für eine Kombination eines exzentrischen mit einem polaren Inversorteil sei besprochen:

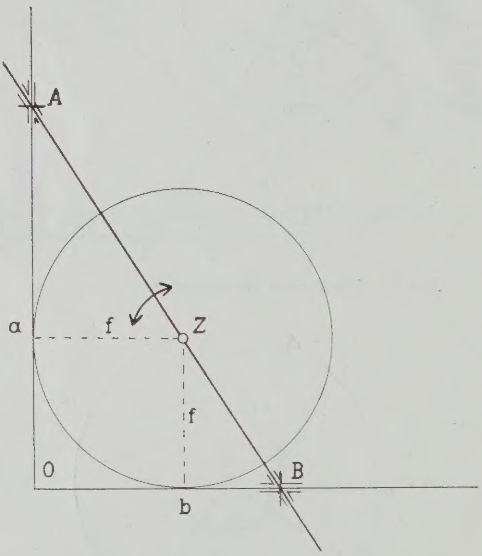


Fig. 11. Holst-Inversor.

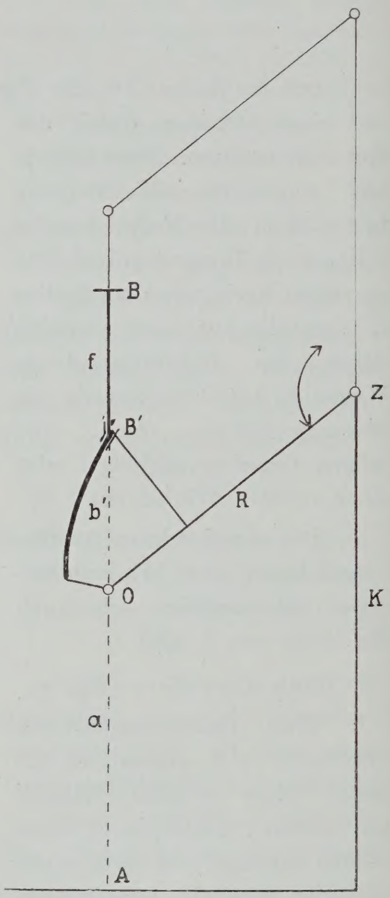


Fig. 22. Sinus-Inversor.

10. Sinusinversor (Fig. 12).

Der Projektionsapparat ist über der Projektionsfläche an einer Parallelogrammführung aufgehängt. K ist der Abstand des festen Drehpunktes von der Projektionsfläche, R die Länge des Armes. Entsprechend ist

$$a = K - R \cdot \sin \varphi \quad \text{und} \quad b = f + \frac{f^2}{K - f - R \cdot \sin \varphi}. \tag{14}$$

In Verbindung mit 14) folgt aus 7) eine Steigung der Kurve zur Einstellung der b zu

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{R \cdot \cos \varphi}{K - f - R \cdot \sin \varphi}. \tag{15}$$

Damit keine Selbsthemmung eintritt, muß $\operatorname{tg} \beta$ kleiner als 1 bleiben. Wenn das Instrument nur zu Vergrößerungen, nicht aber zu Verkleinerungen verwendet werden soll, ergeben sich für φ zwischen $+45^0$ und -45^0 günstige Kurven.

Varianten sind in verschiedener Weise möglich.

Vgl. Houghtons, Engl. Pat. 11620 v. 18. 3. 1906. Hopkins, Engl. Pat. 156224 v. 28. 3. 1916.

Neue Inversoren.

A. Neue Varianten bekannter Typen.

Durch die Inversoren 4 bis 7 ist die Reihe der möglichen zyklischen Inversoren keineswegs erschöpft. Ergänzungen sind in verschiedener Richtung möglich. Wenige Beispiele mögen genügen.

11. Erweiterter Peaucellier-Inversor (Fig. 13).

Inversor 5 war bereits als allgemeinerer Fall des Inversors 6 aufgefaßt worden. Man erhält eine noch nicht veröffentlichte Variante durch Ausbildung der Geradführung zu Inversor 5 in der Weise, wie dies bei Inversor 6 geschieht, nämlich Angliederung eines symmetrisch gleichen Inversors.

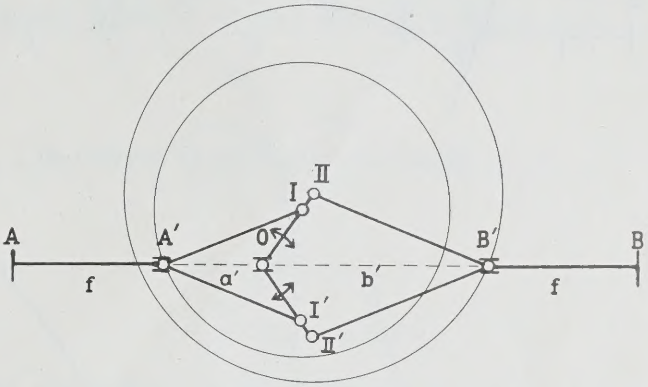


Fig. 13. Erweiterter Peaucellier-Inversor.

12. Zyklischer Vierscheibeninversor mit Innen- und Außenachse (Fig. 14).

Dieser neue Inversor entsteht durch Kombination je eines Inversors 4 mit einem Inversor 5. Durch diese Kombination ist zugleich die Geradführung erreicht.

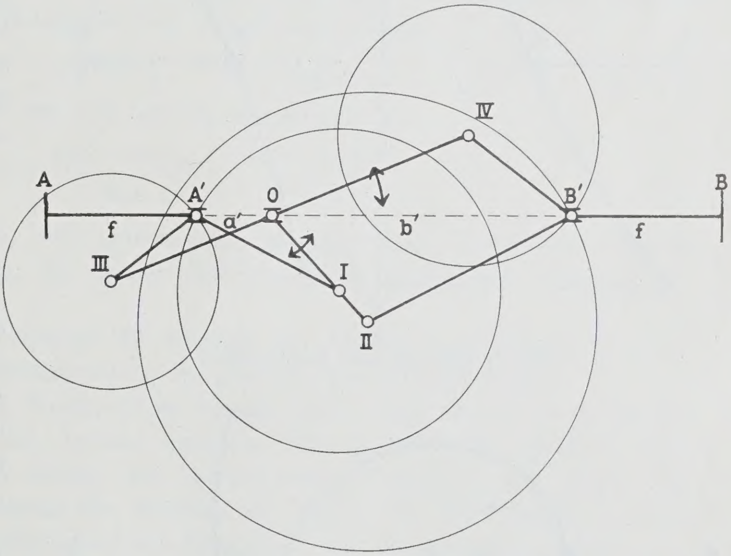


Fig. 14. Zyklischer Vierscheibeninversor mit Innen- und Außenachse.

13. Zyklischer Zweischeibeninversor mit Achsberührung (Fig. 15).

Dieser Inversor ist eine Variante von Inversor 4 und 5 für den Sonderfall, daß r_1 unendlich wird. Der zugehörige Kreis geht in eine Gerade über, die vom Pole den Abstand $\frac{f^2}{2\,e_2}$ hat, während $r_2 = e_2$ wird. Der Parameter ist

$$\varphi = \arccos \frac{b'}{2\,e_2}. \qquad 16)$$

B. Logarithmische Inversoren.

Der logarithmische Inversortyp entsteht durch Wahl des Parameters

$$t = k \cdot \ln a' \quad \text{bzw.} \quad \varphi = k \cdot \ln a'. \qquad 17)$$

Durch diese Wahl wird der zugehörige translatorische Inversor zum

14. Logarithmischer Spindelinversor (Fig. 16).

Die Kurve der a' ist die Kurve Num ln a' mit der Steigung

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{a'}{k}. \qquad 18)$$

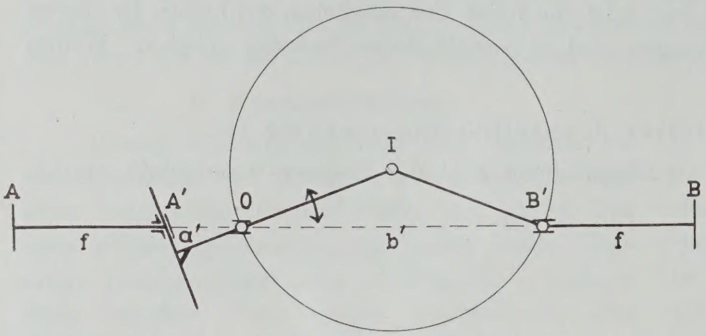


Fig. 15. Zyklischer Zweischeibeninversor mit Achsberührung.

Die Kurve der b' ist die Kurve Num ln b' mit der Steigung

$$\operatorname{tg}\beta = -\frac{f^2}{a' k}. \qquad 19)$$

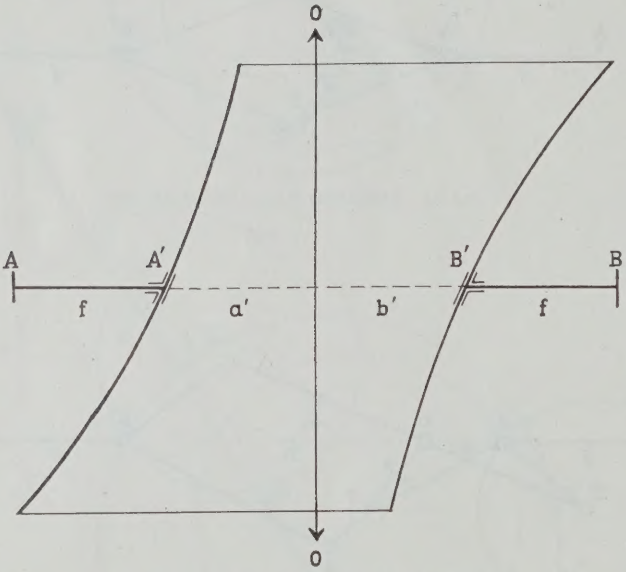


Fig. 16. Logarithmischer Spindelinversor.

Die Kurven der a' und b' sind untereinander völlig gleich und nur in entgegengesetzter Richtung aneinander gesetzt. Dabei sind die Summen der Logarithmen jedes zusammengehörigen Wertepaares konstant gleich $2 \ln f$. Infolge dieser Eigenschaft besteht die Möglichkeit, diesen Inversor durch ein einfaches gegenseitiges Verdrehen der beiden Spindelhälften für eine beliebige Brennweite der Linse abzustimmen.

15. Logarithmischer Scheibeninversor (Fig. 17).

Dieser entsteht infolge der Wahl des Parameters aus dem zugehörigen polaren Inversor. Hierbei werden die Kurven für die a' und b' zu logarithmischen Spiralen. Aus 7) folgt:

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{1}{k}; \quad \operatorname{tg}\beta = -\frac{1}{k}. \qquad 20)$$

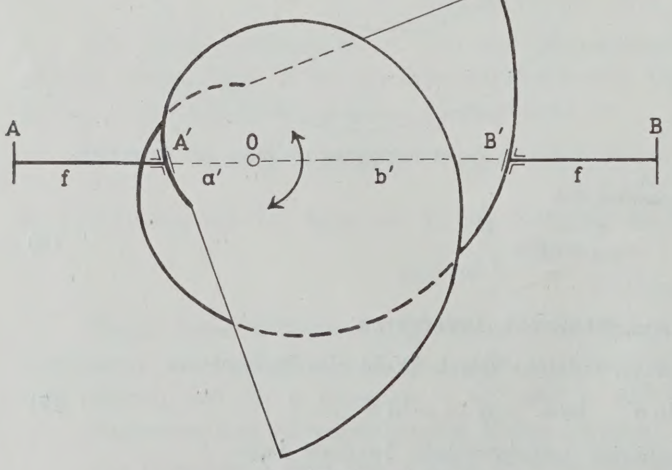


Fig. 17. Logarithmischer Scheibeninversor.

Die beiden logarithmischen Spiralen sind ebenso wie bei Inversor 14 untereinander völlig gleich und nur in entgegengesetzter Richtung aneinander gefügt, wobei die gegenseitige Verdrehung so gewählt ist, daß der Winkel $2 \ln f$ entspricht.

Dieser Inversor besitzt also die gleich günstige Einstellmöglichkeit für eine geänderte Brennweite wie Inversor 14, hat aber als besonderen Vorteil eine gleichmäßige Steigung der Kurven im ganzen Anwendungsbereich. Um Selhsthemmung zu vermeiden, muß nur die Steigung kleiner als 1 sein, was bei diesem Inversor im Gegensatz zu allen bisherigen für beliebige Bereiche möglich ist.

16. Logarithmischer Bandinversor (Fig. 18).

Während die Inversoren 14 und 15 noch besondere Fälle der bekannten Grundformen darstellen, ist der logarithmische Bandinversor ein besonderer Fall einer neuen Grundform. Diese besteht darin, daß Funktionen zusammengehöriger Wertepaare als Tangentenabschnitte an Kurven abgetragen werden, die so gewählt sind, daß die a' und b' aus Abwicklungen von Bändern entstehen. Den einfachsten Fall stellt hier die logarithmische Spirale dar.

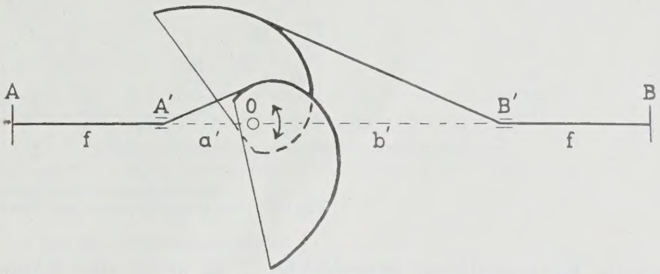


Fig 18. Logarithmischer Bandinversor.

Läßt man je ein Band von je einer rotierenden logarithmischen Spirale abrollen und führt sein Ende auf einer nach der Rotationsachse gerichteten Geraden, so ist der Abstand a' bzw. b' dieses Bandendes von der Rotationsachse

$$a' = r_a \operatorname{ctg} \alpha, \qquad b' = - r_b \operatorname{ctg} \alpha \tag{21}$$

und weiter der Winkel, um den sich die Spirale gedreht hat:

$$\varphi = \frac{\ln a' - \ln a_0'}{\operatorname{tg} \alpha} = \frac{\ln b' - \ln b_0'}{- \operatorname{tg} \alpha}. \tag{22}$$

Hierin bedeuten a_0' und b_0' eine gemeinsame Anfangsstellung der beiden Spiralen. Die gegenseitige Verdrehung der beiden Spiralen hängt wieder nur von der Einstellung der Brennweite ab.

Dieser Bandinversor vereinigt die Vorzüge der anderen logarithmischen Inversoren mit kleinsten Scheibendimensionen im gleichen Anwendungsbereich.

Eine Variante zu dem Bandinversor besteht darin, daß man die Steigung der Spirale größer als 45^0 nimmt. Drückt man nun zwei Lineale, die gegen die Verschiebungsrichtung um den Betrag der Spiralensteigung geneigt sind, gegen die Spiralen, so werden bei Drehung der Scheiben die Kurven an den Linealen abrollen und deren Führungen gleichzeitig um die Beträge a' und b' verschoben werden.

C. Pythagorasinversor.

Während bei allen bisher betrachteten Inversoren die Hauptebenen oder die Brennpunkte Bezugspunkte waren, wird bei dem Pythagorasinversor der Symmetriepunkt zwischen Objekt und Bild als Bezugspunkt gewählt. Aus 4) folgt, daß die hierbei entstehenden Strecken sich so verhalten, als wäre der um f verminderte Abstand des Objekts und des Bildes vom Symmetriepunkt die Hypotenuse, der Abstand der Linse vom Symmetriepunkt eine Kathete und die Brennweite f die andere Kathete eines rechtwinkligen Dreiecks. Diese Beziehung läßt sich mit einfachen mechanischen Mitteln darstellen.

17. Pythagorasinversor mit Band (Fig. 19).

O' und M tragen je eine gleiche Rolle. Während die Rolle M drehbar gelagert ist, ist die Rolle O' im allgemeinen nicht drehbar und dient dazu, um bei Verschiebungen von O dem Band eine solche Führung zu geben, daß der Abstand der tangentialen Berührungspunkte in O' und M gleich p ist. Die Rolle O' ist zur Einstellung von q in der Richtung AB, zur Einstellung von f außerdem auf einem zu AB normalen Kreuzschlitten verschiebbar. M stellt den Symmetriepunkt dar. Von M aus ist das Band um die Rollen P und Q, die mit M starr verbunden sind, parallel zu AB geführt und wird in R durch eine geeignete Vorrichtung stets gespannt gehalten. An dem Band sind in gleichen Abständen $p + f$ von M die Mitnehmer A und B für Objekt und Bild befestigt.

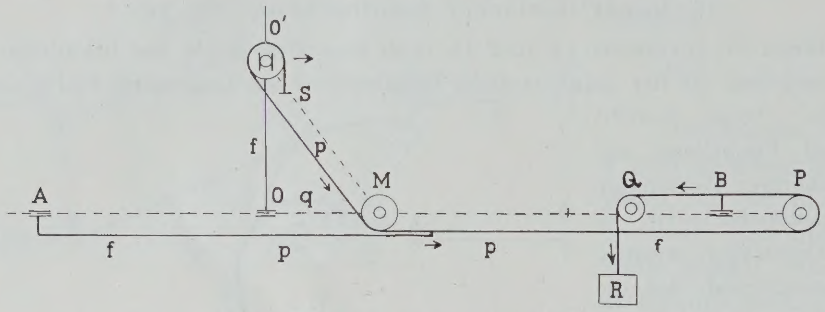


Fig. 19. Pythagoras-Inversor mit Band.

Bei jeder Verschiebung von O in Richtung AB werden automatisch AB auf den der Scharfabbildung entsprechenden richtigen Abstand eingestellt. Dadurch, daß das Ende des Bandes, das um O geschlungen ist, in S befestigt ist, wird aber auch bei einer Veränderung der Einstellung von f die Einstellung von AB für dieses geänderte f automatisch richtig. Der Inversor ermöglicht also auch in einfachster Weise eine stetige Veränderung von f, wie dies bei einer Verdrehung der Linse während der Arbeit notwendig werden kann, wenn dabei die Richtung AB nicht mehr mitder optischen Achse der Linse parallel ist, sondern nur mehr die Richtung zweier konjugierter Punkte darstellt. (Fig. 20.)

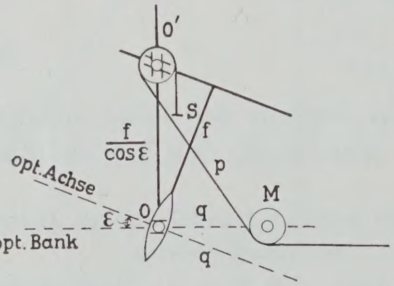


Fig. 20. Automatische Brennweitenverstellung bei Kippung der Linse.

18. Pythagorasinversor mit Zahnstangen (Fig. 21).

Die gleichen Einstellungsmöglichkeiten wie unter 17 werden dadurch erhalten, daß man die verschiedenen Rollen durch Zahnräder und die dazwischenliegenden geraden Teile des Bandes durch Zahnstangen ersetzt. Hierbei ist die Zahnstange $O'S$ in der Brennweitenrichtung fest. Auf ihr rollt bei einer Verstellung der Brennweite das Zahnrad O' ab und bewirkt durch seine Drehung eine entsprechende Verstellung der Zahnstange $O'M$ und der damit durch das Zahnrad M gekuppelten Zahnstangen MA und MB. Wird dagegen das Zahnrad O' nur in der Richtung AB verschoben, so dreht es sich nicht, nimmt aber die Zahnstange $O'M$ mit und bewirkt so eine entsprechende Drehung des Zahnrades M, das seinerseits wieder die Zahnstangen MA und MB verschiebt.

Außer diesen beiden Ausführungsformen sind natürlich Varianten mit Spindeln und Kombinationen verschiedener Art möglich.

Der Pythagorasinversor nimmt unter den übrigen Inversoren eine gewisse Sonderstellung ein: Er besteht aus einfachsten Konstruktionselementen, ist bei beliebigem Anwendungsbereich sowohl für Vergrößerung wie für Verkleinerung frei von Selbsthemmung, ist für beliebige Brennweiten einstellbar und besitzt die kleinsten Gesamtdimensionen, da A und B gegenüber dem Symmetriepunkt M viel kleinere Bewegungen ausführen als gegenüber der Linse.

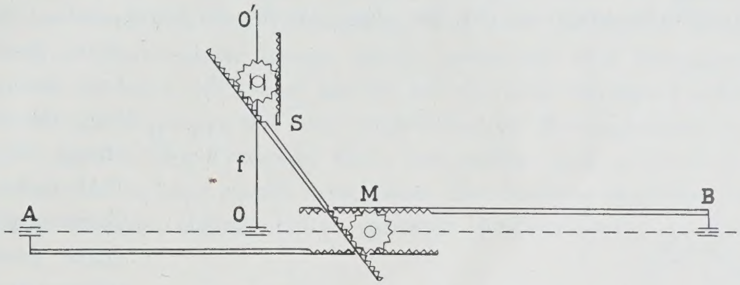


Fig. 21. Phytagoras-Inversor.

Im Bereiche der Optik liegen für Inversoren mehrfach Verwendungsmöglichkeiten vor. Es sei nur auf einige hingewiesen: im Bau von Entfernungsmessern, bei Perspektographen verschiedener Art (z. B. enthält der Zeiss-Stereoautograph einen Inversor vom Winkelhebeltyp, der Zeiss-Stereoplanigraph einen Hyperbelinversor), bei Projektionsapparaten für Vergrößerungen. Eine wichtige Verwendungsmöglichkeit ist beim Bau von Entzerrungsgeräten gegeben. Automatische Einstellung der Bildschärfe ist bei diesen Geräten ausschlaggebend für rasches und damit wirtschaftliches Arbeiten. Das neue, vollautomatische Entzerrungsgerät der Firma Carl Zeiss ist mit zwei Pythagorasinversoren ausgestattet.

Die gestreckte Bandfederwage.

Von
H. Hermann in Tübingen.

Die vom Verfasser magnetometrisch benützte lange Stahlbandfeder[1]) ist gegen bewegte Luft um so empfindlicher, je größer bei gleicher Nachgiebigkeit ihre Schwingungsdauer ist. Hieraus ergibt sich als günstigste Form die einer wagrechten Geraden, weil diese bei gegebener Länge am wenigsten Masse hat. Zugleich ist bei ihr praktisch der Schutz vor bewegter Luft am bequemsten. Endlich ist sie am besten einem theoretischen Überschlag und einer planmäßigen Herstellung zugänglich.

Die gestreckte Bandfederwage stellt den Grenzfall des einseitig eingeklemmten, freitragenden Balkens der Festigkeitslehre dar. Denkt man sich einen auf Unterlage gerade gewesenen solchen Balken in seiner freitragenden, durch die eigene Last gebogenen Gestalt an einer wagrechten Ebene gespiegelt, so erhält man die Gestalt, welche er auf Unterlage haben muß, wenn er freitragend gerade sein soll: es ist die elastische Linie eines Freiträgers bei gleichbleibendem Querschnitt und gleichmäßig verteilter Last. Ihre Krümmungsgleichung ist[2]): $\varrho = EJ : M = Eh^2 : 6\,l^2 s$,

---

[1]) *Zschr. f. phys. u. chem. Unterr.* **37**, *S. 99.*

[2]) „Hütte" (angeführt nach der 21. Aufl., 1911) I. 549; dazu 566, Abb. 7 und für die Querschnittsfunktionen 552, Nr. 1.

wo ϱ der Krümmungshalbmesser, E der Elastizitätsmodul, J das Trägheitsmoment des Querschnitts, M das Biegungsmoment bedeuten, also $J = bh^2 : 12$ mit b als Breite, h als Dicke des Trägers; $M = bhl^2 s : 2$ mit l als Länge, s als spez. Gewicht desselben. Wie unmittelbar zu erwarten, wird ϱ unabhängig von b.

Diese Krümmungsgleichung bleibt richtig, auch wenn die in der Festigkeitslehre übliche Voraussetzung geringer Verbiegung fallen gelassen wird, wenn nur, wie es in dem hier betrachteten Verwendungsfall zutrifft, das Biegungsmoment dem Ansatz gehorcht. Die Aufgabe der Gestaltsermittlung benötigt alsdann ein Ausgehen vom freien Ende als Koordinatenursprung mit der einen Axe in der Berührenden. Sie ist jedoch nicht geschlossen lösbar; schon die Herstellung der Steigungsgleichung führt auf ein Eulersches Integral. Zeichnerisch ist sie dagegen genähert lösbar, indem man die Zuwüchse von l endlich wählt, durch ihre Sehnen ersetzt und das für eine Reihe von l-Werten berechnete ϱ zur punktweisen Evolventenzeichnung benutzt; aus den Evolventenpunkten werden dann die Kurvenbogenstücke, durch Krümmungskreisbogenstücke von der Sehnenlänge l dargestellt, mit dem Zirkel konstruiert. Hierfür dient mit $E = 21{,}6\ \mathrm{t/mm^2}$, $h = 0{,}5$ mm, $s = 7{,}2$, dl anfangs gleich 5 cm, von $l = 100$ an gleich 2,5 cm folgende Tafel:

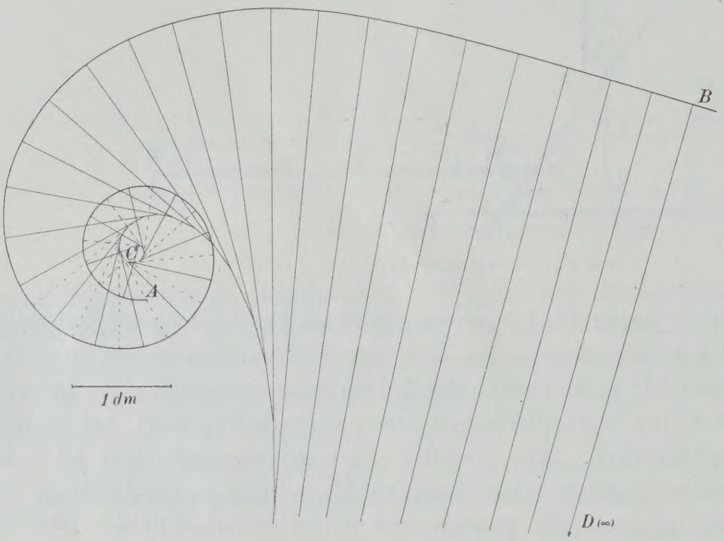


Fig. 1. Konstruktionszeichnung der entspannten Stahlbandfederwage, 0,5 mm dick, 1530 mm lang. Bei A eingeklemmt, bei B nach Aufwinden um 56° belastet. Empfindlichkeit bei 10 mm Breite 2 mg/mm. („Starre“ 22 Sin/cm). Bei C Evolvente der elastischen Spirale.

l	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90 cm
ϱ	∞	5000	1250	550	312	200	140	102	78	62	50	41	35	30	25	22	19,5	17	15,5 cm

l	95	100	102,5	105	107,5	110	112,5	115	117,5	120	122,5	125	127,5	130 cm
ϱ	14	12,5	11,9	11,3	10,8	10,2	9,9	9,5	9,1	8,7	8,35	8,0	7,7	7,4 cm

l	132,5	135	137,5	140	142,5	145	147,5	150	152,5	155	157,5	160	162,5	165 cm
ϱ	7,15	6,9	6,65	6,4	6,15	5,95	5,75	5,6	5,4	5,2	5,05	4,9	4,75	4,6 cm

l	167,5	170	172,5	175	177,5	180	182,5	185	187,5	190	192,5	195	197,5	200 cm
ϱ	4,475	4,35	4,2	4,1	4,0	3,9	3,8	3,65	3,6	3,5	3,4	3,3	3,2	3,125 cm

Das Bruchmoment findet man rechnerisch als Produkt aus Widerstandsmoment und Bruchspannung mit dem Spannungswert (für besten Kruppschen Federstahl vom Jahr 1911) 180 kg/mm² gleich 0,075 mkg. Experimentell wurde es ermittelt, indem ein Bandende in das Klemmfutter der den württembergischen höheren Schulen durch Vermittlung der Landesanstalt für den Physikunterricht zum Selbstkostenpreis zur Verfügung gestellten Kugellagerachse des Cannstatter Norma-Werks gesteckt, am andern Ende festgehalten und unter Einschaltung einer Federwage an meßbarem Hebelarm zusammengewunden wurde. Es zeigte sich dabei erheblich größer, nämlich

0,1 mkg, was jedenfalls auf ausgezeichnete Güte des Stahlbandes (Kaltwalzwerk Eberle & Cie., Augsburg-Pfersee) schließen läßt. Die freitragende Meistlänge ist somit 20 bis 24 dm. Die Elastizitätsgrenze, für den Kruppschen Federstahl von 1911 zu 145 kg/mm² angegeben, wird bei 183 cm freitragende Länge erreicht.

Die nach dem beschriebenen Versuch zurückbleibende Spiralgestalt zeigt für den beabsichtigten Zweck zu schwachen Gang der Krümmung (Fig. 2); die Krümmung muß gegen das freie Ende abgeschwächt, beim eingeklemmten gesteigert werden. Es gelang mit meinen Hilfsmitteln nur annähernd, ihr die richtigen Werte zu geben; besonders schwierig ist das Vermeiden von Verwindung. Ich blieb schließlich stehen bei einer Feder von 153 cm freitragender Länge, welche etwas vor dem eingeklemmten Ende eine Strecke weit zu stark gekrümmt ist, so daß sie sich unbelastet überschlägt und einrollt, jedoch durch Belastung mit einer angeklemmten Messingpinzette in 2 bis 3 dm Abstand vom wagrecht eingeklemmten Ende eine stabile, ganz schwach wellenförmige Gestalt annimmt, bei welcher durch Verschieben der Pinzette das freie Ende bequem in gleiche Höhe mit dem eingeklemmten gebracht werden kann.

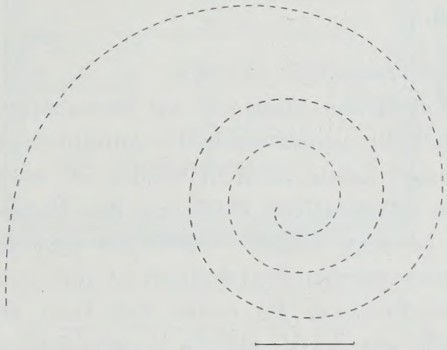


Fig. 2. Uhrfederspiraie. (Der freie Anfang ist, weil unbestimmbar, fortgelassen.)

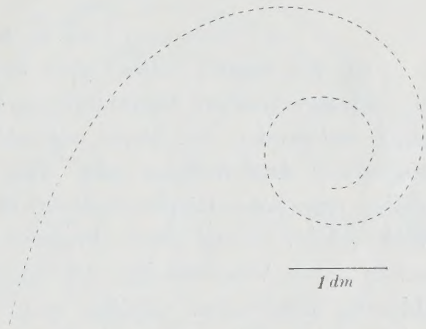


Fig. 3. Entspannte Stahlband-Federwage. Nach der Natur pantographiert. (Der freie Anfang ist, weil unbestimmbar, fortgelassen,)

Das unbelastete freie Ende dieser Federwage (Fig. 3) senkte sich längere Zeit, jedoch sehr langsam, so daß das Arbeiten mit ihr von Anfang an möglich war. Die Senkung betrug in je 24 Stunden

anfangs	nach einigen Tagen	nach 2 Wochen	nach 2 Monaten	
6	2	1,1	0,4	cm

Die Schwingungsdauer ist 5 Sek.; die Nachgiebigkeit 9 mm für 2 cg (also $1^1/_2$ mal soviel als beim ersten Versuch mit weicherem Stahl bei schlechterer Ruhelage erreicht wurde, a. a. O. S. 99) oder rund 2,2 Dynen/mm Empfindlichkeit. Die Berechnung aus dem Elastizitätsmodul stimmt damit überein.

Die Wage ist Störungen durch Erschütterung unterworfen. Ein vor dem Gebäude vorüberfahrendes Fuhrwerk erzeugt 0,5 mm, ein Lastkraftwagen 1,5 mm Ausschlag; im Zimmer gehende Menschen entsprechend mehr. Sie wird an besonderem Gestell, das neben dem Tisch auf dem Boden steht, angeklemmt, läuft über den Tisch weg und ist gegen Luftbewegung durch eine Rinne aus Pappetafeln oder Brettern geschützt, welche bis in die Nähe des Stahlbandes mit Holzwolle gefüllt wird.

Die folgende Versuchsreihe zeigt das jetzt Erreichbare in der Bestätigung des Coulombschen Gesetzes mit dem magnetisch gemachten Band. Dabei ist als Pol die Stelle betrachtet, neben welcher eine kleine Bussole sich quer zum Band stellt

(Fr. C. G. Müller). Die Versuchsreihe ist ohne Gehilfen und daher, da mir kein Okularmikrometer zu Gebot steht, ohne optische Hilfsmittel durchgeführt, was bei der jetzigen Empfindlichkeit möglich ist.

Versuch	1	2	3	4	5	6	7	8	11	12
Abstand cm	15,35	11,65	11,65	12	10	10	7	15	9,27	8,5
Polquadrat cgs-Einheiten	1662	2101	1335	1743	1313	1656	1701	1703	1679	1755

Die Ausreißer 2, 3, 5 zeigen Störungen durch Umhergehen im Gebäude. Um den Einfluß bewegter Luft zu zeigen, wurde nach Versuch 8 die Vorderwand der Rinne entfernt und zwei Messungen bei 9,45 cm und 9,75 cm Abstand gemacht; sie ergaben 2040 und 1818, also fühlbare Hebung durch aufsteigende Luft. Nach Wiederherstellung der Rinne folgten 11 und 12, welche im Rahmen der übrigen liegen.

Ein neues magnetisches Horizontal-Variometer der Gebr. Ruhstrat A.-G., Göttingen.

Von

Dipl.-Ing. **E. Brammer** in Göttingen.

In den letzten Jahren sind eine Reihe von Meßinstrumenten zur Beobachtung der erdmagnetischen Bestimmungsgrößen, speziell für geophysikalische Aufschlußverfahren entstanden, bei denen mit mehr oder weniger Erfolg versucht worden ist, unter möglichster Ausschaltung oder doch wenigstens quantitativer Erfassung der Fehlerquellen eine hohe Empfindlichkeit zu erzielen. Letztere Aufgabe wurde auf zweierlei Weise gelöst: einmal durch Vergrößerung der magnetischen Empfindlichkeit und zum andern durch Vergrößerung der optischen Empfindlichkeit. Im ersten Fall kann die Ablesung unmittelbar erfolgen und trotzdem die annähernd gleiche Empfindlichkeit erzielt werden wie bei der zweiten Methode, bei welcher stets eine mikroskopische Ablesung in der gewünschten Vergrößerung erforderlich wird. In beiden Fällen werden gleichzeitig auch die Fehler in vergrößertem Maßstabe erscheinen. Die Methode der Vergrößerung der magnetischen Wirkungen hat jedoch zweifellos den Vorzug, daß die direkte Ablesung einmal das Instrument bedeutend einfacher und daher billiger gestaltet und zum andern eine bedeutend schnellere Ablesung und damit eine schnellere und billigere Aufmessung des zu untersuchenden Geländes gestattet.

Von den letzteren Gesichtspunkten ausgehend, hat die Firma Gebr. Ruhstrat A.-G., Göttingen, ein Horizontal-Variometer herausgebracht, das in erster Linie als Reiseinstrument dienen soll, d. h. bei ausreichender Genauigkeit eine schnelle Aufmessung eines Geländes auf den Verlauf der erdmagnetischen Horizontalintensität ermöglichen soll. Gleichzeitig wird durch Anordnung eines Winkelkopfes mit diesem Hauptzweck die Möglichkeit horizontaler trigonometrischer Geländeaufmessungen verbunden. Ferner soll dasselbe Instrument auch für Laboratoriumszwecke zur Untersuchung magnetostatischer und elektromagnetischer Felder verwendet werden können. Um sich hier den verschiedenen Verhältnissen hinsichtlich der Stärke der zu untersuchenden Felder nach Möglichkeit anzupassen, wurde eine weitgehende Regulierungsfähigkeit der Empfindlichkeit vorgesehen.

Trotz der Vielseitigkeit der Verwendungszwecke sollte das Instrument in seiner Ausführung einfach gehalten werden, um den Kaufpreis niedrig zu halten und die Anschaffung auch weiteren Kreisen zu ermöglichen.

Auf einem Dreifuß (1) ist ein doppelwandiges Messinggehäuse (2) horizontal dreh-

bar und mittels Feinstellung (3) auf wenige Bogenminuten genau einstellbar aufgesetzt. In dem Gehäuse schwingen in einem Rahmen (4), mit ihren vertikalen Achsen in Steinen gelagert, zwei leichte Magnetnadeln (5 und 6) gleicher Abmessungen, deren als Zeiger ausgebildete Verlängerungen über je einer Kreisteilung spielen (7 und 8). Zur parallaxenfreien Ablesung ist am Boden des Gehäuses ein Spiegel (9) angebracht. Zwischen den beiden Nadeln ist ein Stabmagnet (10) horizontal derart angebracht, daß in Normalstellung seine magnetische Achse mit der N-S-Richtung der Kreisteilung zusammenfällt, aber mittels der Schraube (11) um einen beliebig kleinen, an der unteren Kreisteilung abzulesenden Winkel aus dieser Richtung gedreht werden kann. Gleichzeitig kann der vertikale Abstand des Hilfsmagneten von den beiden Nadeln mittels der Schraube (12) reguliert werden. Zwei Anschlagstifte (13) verhindern das Umschlagen der unteren Nadel. Zur horizontalen Einstellung des Instrumentes ist eine Dosenlibelle (14) am Gehäuse angebracht.

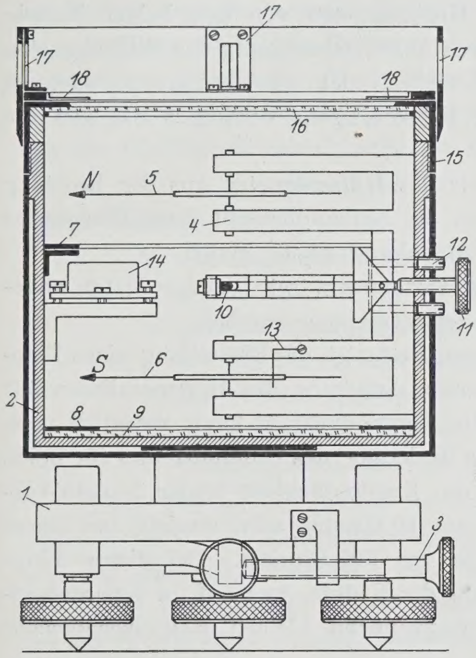


Fig. 1.

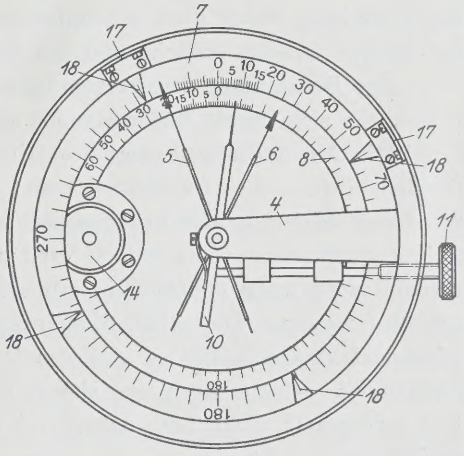


Fig. 2.

Auf den mit einer Glasplatte (16) versehenen Deckel (15) kann ein als Winkelkopf ausgebildeter Ring aufgesetzt werden. Dieser ist mit einer doppelten, kreuzweise angeordneten Visiereinrichtung (17) versehen und um den Deckel drehbar. Zur Ablesung seiner Einstellung sind vier Zeiger (18) in der Richtung der beiden optischen Achsen angebracht.

Das magnetische Moment und der Abstand der Hilfsmagneten von den beiden Nadeln ist so bemessen, daß sein dem Erdfeld entgegengerichtetes Feld am Ort der unteren Nadel das Erdfeld um den gleich geringen Betrag überdeckt, um den es am Ort der oberen Nadel schwächer als das Erdfeld ist. Infolgedessen befindet sich die untere Nadel in der dem Erdfeld entgegengesetzten Richtung und beide Nadeln in einem gleich schwachen Felde. Zur bequemeren Ablesung der beiden Nadeleinstellungen weisen die beiden Zeiger der Nadeln nach derselben Richtung, obwohl letztere mit ihren ungleichnamigen Polen übereinanderliegen.

Im magnetisch ungestörten Erdfelde fallen bei Einstellung in dessen Richtung die Richtungen der Nadeln und des Hilfsmagneten zusammen. (Teilkreisablesung 0

bzw. 180°.) Eine geringe Verdrehung des Richtmagneten aus der Erdfeldrichtung bringt beide Nadeln nach entgegengesetzter Seite zur Ablenkung. Der aus der Summe der Ablenkungswerte beider Nadeln sich ergebende Spreizungswinkel ändert sich bei gleicher Verdrehung des Richtmagneten mit einer Änderung der Horizontalfeldstärke des Erdfeldes. Rückwärts kann also durch Beobachtung des Spreizungswinkels die Änderung der Stärke des untersuchten Feldes, sei sie zeitlich oder örtlich, gemessen werden.

Die Empfindlichkeit, d. h. die Änderung des Spreizungswinkels bei einer bestimmten Änderung der Stärke des Erdfeldes läßt sich regulieren

1. durch Änderung des Abstandes des Hilfsmagneten von den beiden Nadeln mittels der Einstellung (11), und zwar wird durch Aufwärtsbewegung des Hilfsmagneten die Empfindlichkeit größer, da gleichzeitig für beide Nadeln eine weitere Schwächung des Erdfeldes eintritt. Abwärtsbewegung des Hilfsmagneten verringert dagegen die Empfindlichkeit;

2. durch Änderung des Ablenkungswinkels des Hilfsmagneten aus der Richtung des Erdfeldes, wobei nach anfänglichem Steigen die Empfindlichkeit ihren Höchstwert bei einigen Graden erreicht und bei weiterer Ablenkung wieder sinkt.

Zur Beurteilung der Verwendbarkeit des Variometers seien einige Daten angegeben, die sich durch Nachrechnung und Versuchsmessungen ergaben.

Die Abstandsregulierung des Hilfsmagneten gestattet die Einstellung eines Empfindlichkeitsbereiches zwischen 10 und 100 Gamma Änderung der Horizontalintensität pro Grad Änderung des Spreizungswinkels. Die Empfindlichkeit kann natürlich noch weiter verringert werden, jedoch wird dann die Änderung des Differenzfeldes für beide Nadeln nicht mehr gleichmäßig erfolgen, d. h. die Empfindlichkeit beider Nadeln verschieden werden. Die größte Empfindlichkeit von 10 Gamma wird erreicht bei einem Differenzfeld des Erdfeldes und des Richtfeldes von 500 Gamma. Bei dieser Empfindlichkeit erfolgt noch eine sichere Einstellung der Nadeln, was auf ihr außerordentlich geringes Gewicht und daher auf ihre verschwindend kleinen Reibungsmomente zurückzuführen ist.

Einer Abstandsänderung des Richtmagneten von den Nadeln von 0,01 mm entspricht eine Feldänderung von ca. 30 Gamma. Der Einfluß der Temperatur allein auf die Längenausdehnung des Gehäuses und des Systemträgers ist daher für die Erhaltung eines konstanten Abstandes und damit eines konstanten Feldes nicht ohne Bedeutung. Beispielsweise beträgt bei der genannten Empfindlichkeitseinstellung der Fehler für 1° Temperaturänderung innerhalb des Gehäuses ca. 5 Gamma Feldänderung, was einer Änderung des Spreizungswinkels um etwa $^1/_2{}^0$ entspricht.

Während die wärmeisolierende Ausführung des Gehäuses einen guten Schutz gegen kurzzeitige Temperaturschwankungen bietet, muß gleichwohl eine gleichzeitige Temperaturbeobachtung zur Ausschaltung der Fehler, die durch langzeitige Temperaturschwankungen innerhalb des Gehäuses auftreten, vorgenommen werden, wie sie für alle magnetischen Instrumente erforderlich ist.

Die Schwingungsdauer der Nadeln beträgt in der oben genannten Empfindlichkeitseinstellung nur wenige Sekunden, die Dämpfung ist ebenfalls gut — Vorzüge der kurzen und leichten Nadeln —, so daß bereits nach 2 bis 3 Schwingungen die Ruhelage eintritt.

Die Vorbedingungen für eine schnelle und trotzdem hinreichend genaue Geländeaufmessung, nämlich sofortige Einstellung der Nadeln, bequeme Ablesung, hohe Emp-

findlichkeit, dazu noch die Transportsicherheit (eine Gefahr der Verletzung der Achsenspitzen und der Steine durch Erschütterungen ist wegen des leichten Gewichts der Nadeln nicht vorhanden) dürften von dem Ruhstratschen Horizontal-Variometer als erfüllt gelten.

Gleichzeitig ist die Verbindung des Variometers mit dem Winkelkopf, die eine Messung der Abweichungen der Erdfeldrichtung von einer Bezugslinie gestattet, eine erwünschte Zugabe zur Messung der Horizontalintensität, namentlich für geophysikalische Aufschlußverfahren.

Die Theorie des Instrumentes baut sich, wie bereits erwähnt, auf die Einstellung der oberen und der unteren Nadel in je ein resultierendes Feld auf, das sich aus dem Erdfelde und dem Richtfelde sowie ihrem Richtungsunterschiede ergibt. Die gegenseitige Einwirkung der beiden Nadeln aufeinander kann infolge des geringen Momentes der sehr leichten Nadeln praktisch vernachlässigt werden. Damit ergibt sich die Gleichgewichtsbedingung für die Einstellung beider Nadeln zu:

$$H = k \cdot M_r / (e^3 - e'^3) \cdot \sin d \cdot (\operatorname{ctg} \varphi + \varphi') .$$

Hierin bedeutet

M_r das magnetische Moment des Hilfsmagneten,
e u. e' seinen Abstand von der oberen bzw. von der unteren Nadel,
d seinen Ablenkungswinkel aus der Richtung des Erdfeldes,
φ u. φ' die Einstellung der oberen bzw. der unteren Nadel in Graden, von 0^0 aus absolut gemessen,
k einen Korrektionsfaktor aus den Längen- und Abstandsverhältnissen des Hilfsmagneten und der Nadeln.

Diese Formel hat jedoch nur Gültigkeit, wenn die Horizontalintensität des Erdfeldes sowie dessen Kraftlinienrichtung am Orte beider Nadeln gleich ist. Dies kann aber als praktisch zutreffend gelten, wenn die Ursachen der Erdfeldstörung gegenüber der Größe der Störung in sehr weiter Entfernung vom Meßpunkte liegen, wie z. B. bei geophysikalischen Aufschlußmessungen. Bei der Untersuchung künstlicher Felder im Laboratorium gilt die Kombination der Ablenkungsgesetze der oberen und unteren Nadel zu der oben genannten Formel nicht mehr, sondern es muß hier das magnetische Feld am Orte jeder einzelnen Nadel berechnet werden, analog der Messung mit einem Einstab-Variometer.

Synthetische Edelsteine, ihre Herstellung und technische Verwendung.

Von
A. Werner in Charlottenburg.

Die zunehmende Bedeutung synthetischer Edelsteine für feinste instrumentelle Zwecke bietet Anlaß, an dieser Stelle auf ihre Herstellung und Verwendung näher einzugehen.

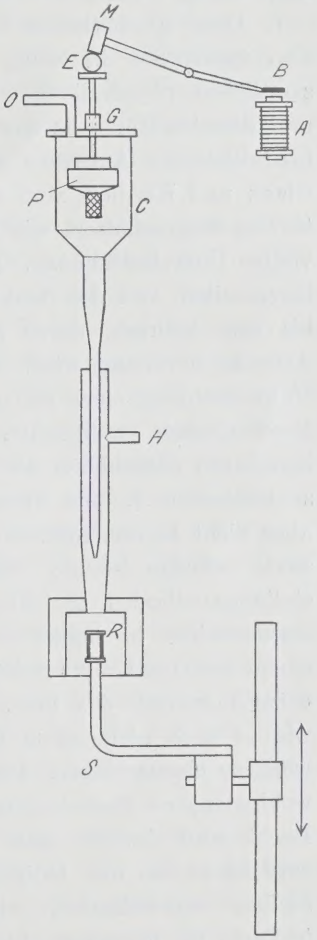
Unter Edelsteinen versteht man eine Anzahl von Mineralien, die mit der Schönheit ihres Aussehens, bedingt durch Glanz, Durchsichtigkeit, Farbe oder ein auf starker Dispersion des Lichtes beruhendes Farbenspiel, mindestens die Härte des Quarzes und Unangreifbarkeit durch äußere Einflüsse verbinden. Neben diesen Eigenschaften muß die Bedingung verhältnismäßig seltenen Vorkommens erfüllt sein, und es ist merkwürdig, daß die schönsten und begehrtesten Edelsteine, wie Diamant, Smaragd und Rubin, zugleich auch die seltensten und kostbarsten Naturprodukte sind.

Fast alle Edelsteine sind kristallisiert, d. h. von regelmäßig gelagerten Flächen begrenzt, mit Ausnahme von Opal und Türkis, die in amorphem Zustande sich vorfinden. Die Kristalle sind, sofern sie nicht dem regulären Kristallsystem angehören, doppelbrechend und zeigen häufig, in mehr oder minder starkem Grade, die Erscheinung des Dichroismus, worunter die Eigentümlichkeit verstanden wird, in Richtung verschiedener optischer Achsen verschiedene Farben aufzuweisen. Im Edelsteinhandel führen die Edelsteine Benennungen, die von den in der Mineralogie gebräuchlichen abweichen. Sind es hier die chemische Zusammensetzung, die Kristallform in Verbindung mit den physikalischen Eigenschaften, welche die Zugehörigkeit der Minerale zu einer bestimmten Klasse bedingen, so spielt im Edelsteinhandel die Farbe der Steine bei der Trennung in verschiedene Arten eine ausschlaggebende Rolle. So faßt die Mineralogie unter dem Namen Korund alle Steine zusammen, die, von Spuren fremder Beimengungen abgesehen, aus reiner Tonerde (Aluminiumoxyd) bestehen, im hexagonalen System kristallisieren und in ihren sonstigen physikalischen Eigenschaften meist übereinstimmen. In der Farbe jedoch weichen sie beträchtlich von einander ab. Fast alle Farbvarietäten sind vertreten, die dann im Edelsteinhandel Bezeichnungen wie Saphir, Rubin, orientalischer Topas, orientalischer Smaragd usw. tragen, die zum Teil Mineralien ganz anderer chemischer Zusammensetzung zukommen.

Die Versuche zur Herstellung künstlicher oder, wie besser gesagt wird, synthetischer Edelsteine reichen bis in die fünfziger Jahre des vorigen Jahrhunderts zurück, und es waren vor allem französische Forscher, die sich mit diesem Problem zuerst beschäftigten. Sieht man von den Versuchen ab, die von Gaudin, Sénarmont, Ebelmen und Deville angestellt wurden, durch Zusammenschmelzen von Aluminiumoxyd in Gegenwart eines farbigen Oxyds oder mit Borsäure und Chromoxyd im Porzellanofen oder durch Einwirkung von dampfförmiger wasserfreier Borsäure auf Aluminiumchlorid Rubinkristalle herzustellen, die von den beiden letzteren auch tatsächlich in mikroskopisch kleiner Form erhalten wurden, so ist festzustellen, daß die Synthese des Rubins dem Pariser Chemiker Frémy nach vielen zusammen mit A. Verneuil ausgeführten Untersuchungen 1891 geglückt ist. Sie brachten das Aluminiumoxyd in einem Tontiegel, der wegen seiner porösen Beschaffenheit die Luftzirkulation begünstigte, bei hoher Temperatur (1500° C) zur Kristallisation, indem sie als Flußmittel einen Zusatz von Fluorbaryum, etwas Ätzkali und eine kleine Menge chromsaures Kali (3—4 %) benutzten. Wahrscheinlich bildet sich dabei Fluoraluminium, das dann zersetzt wurde und so Kristalle der Tonerde lieferte, die sich durch Aufnahme von Chromoxyd rot färbten. Das Ergebnis waren prachtvolle, durchsichtige, rhomboedrische Kristalle in dünnen Tafeln von allerdings höchstens $^1/_3$ Karat Gewicht, die in mehr oder weniger großer Menge in der Schmelze lagen und in allen ihren Eigenschaften mit den natürlichen Rubinen übereinstimmten. Allerdings waren die Kristalle noch zu klein, um als Edelsteine in der Praxis eine Rolle zu spielen. Ein gewisses Aufsehen erregten die im Jahre 1882 in der Schweiz von einem Chemiker namens Diner Wyse hergestellten Rubine beachtenswerter Qualität, die aber ebenso wie die von Michaud später in den Handel gebrachten sogenannten „rekonstituierten" Rubine durch Zusammenschmelzen von kleinen natürlichen Rubinen und Rubinpulver erhalten wurden, also keine Synthese dieses Edelsteines darstellten.

Im Jahre 1902 machten dann A. Verneuil und Marc Paquier ein Verfahren bekannt, das nach weiterer Ausbildung und Vereinfachung die Herstellung schöner und großer Rubine für den Handel zu mäßigem Preise ermöglichte und das als einzige Methode sich auch industriell durchgesetzt hat. Sie schmolzen chromhaltiges Aluminium-

oxyd in einem vertikalen Gebläse[1]) (siehe Fig.), das mit Sauerstoff und Wasserstoff bzw. Leuchtgas gespeist wurde. Die Flamme wird auf die Fläche *R* gerichtet, welche die geschmolzene Tonerde aufnimmt und durch einen von einer Platinzwinge eingeschlossenen Tonzylinder von 3—4 mm Durchmesser gebildet wird. Das den Tonzylinder tragende Eisenrohr *S* ist verstellbar und gestattet eine genaue Einstellung bei Beginn eines jeden Versuches. Das wasserfreie, feingepulverte, etwa 2,5 $^0/_0$ chromoxydhaltige Aluminiumoxyd befindet sich in einem zylindrischen Korb *P*, der in einem siebartigen Behälter aus feinstem Drahtgewebe endigt. Umgeben wird der Korb durch einen weiteren Zylinder *C*, in welchen das Einleitungsrohr *O* für den Sauerstoff einmündet und durch dessen Deckel bei *G* eine den Korb *P* tragende, mit einem kleinen Amboß *E* versehene Stange hindurchgeführt ist. Eine kleine elektrische Vorrichtung, die im wesentlichen von einem Elektromagneten *A* und einem Anker *B* gebildet wird, bewirkt, daß in regelmäßigen Zwischenräumen und ganz kurzen Pausen das Hämmerchen *M* auf den Amboß *E* niederfällt. Durch die leichten Erschütterungen wird das Pulver durch das Drahtgewebe in gleichmäßiger Verteilung durchgesiebt, fällt in das Mittelrohr und wird durch den Sauerstoffstrom, der sich mit dem bei *H* eintretenden Wasserstoff mischt zur Verbrennungsstelle fortgeführt. Hier schmilzt die zerstäubte Tonerde zu kleinen, weißglühenden Tröpfchen zusammen, die auf der Fläche *R* des Tonerdenzylinders, der nahe bis zur Schmelztemperatur der Tonerde erhitzt und gegen Wärmeverluste durch einen Mantel aus feuerfestem Material geschützt ist, aufgefangen werden. Beim Abkühlen kristallisiert dann die Tonerde, und die Kristallmasse wird durch Übereinanderlagerung immer neuer dünner Schichten allmählich vergrößert und zeigt schließlich die Gestalt einer Birne. Die Zufuhr neuer Substanz muß dabei so sparsam sein, daß die sich bildenden Schmelztröpfchen beim Erstarren an der Kristalloberfläche Zeit haben, ihre kristallographischen Achsen genau in die Richtung der Achsen des vorgebildeten Kristalls zu orientieren. Auf diese Weise bildet sich ein einheitliches Kristallindividuum. Um Brüche möglichst zu vermeiden, darf die geschmolzene Tonerde mit dem Tonzylinder nur an einer Spitze zur Berührung kommen; beim Abtrennen des Rubins vom Teller springt dann der Kristall fast genau in zwei gleiche Teile. Ein solches Knallgasgebläse lieferte etwa 10 Karat Rubin in der Stunde und Steine bis zu 80 Karat Größe.



Nach einem ähnlichen Verfahren, wie es Verneuil ausgebildet hatte, werden in Deutschland von den Elektrochemischen Werken in Bitterfeld mindestens gleichwertige synthetische Rubine und andere Edelsteine hergestellt und von der dem genannten Unternehmen nahestehenden Deutschen Edelstein-Gesellschaft in Idar weiter verarbeitet und vertrieben. Das von Wild und Miethe ausgearbeitete und in

[1]) Jacques Boyer, *La synthèse des Pierres précieuses*, bearbeitet und ergänzt von Großmann und Neuburger, 1910.

Deutschland eingeführte Verfahren wurde in neuerer Zeit nach verschiedenen Richtungen hin geändert. So wird die Kristallmasse während der Erzeugung um ihre Längsachse gedreht oder bei schwach wechselnder Längsachse und gleichzeitiger Rotation und Kleinerstellung der Gebläseflamme langsam abgekühlt. Früher suchte man gerade durch die plötzliche Erstarrung der Masse neben der Erhärtung und der dadurch bedingten Erleichterung in der späteren Bearbeitung der Steine das lästige Zerspringen der Kristalle zu vermeiden. Das abgeänderte Verfahren bezweckt eine bessere Durchmischung des Materials an der Oberfläche des Schmelztropfens, wodurch die im Mikroskop häufig erkennbare Schichtenbildung verhindert werden soll.

Diese synthetischen Rubine gleichen den natürlichen in jeder Hinsicht vollkommen, also namentlich in bezug auf Kristallisation, chemische Zusammensetzung und die sämtlichen physikalischen Eigenschaften. Sie haben das gleiche spezifische Gewicht und dieselbe Härte, ja zuweilen wegen der Reinheit der Substanz und des regelmäßigen kristallinischen Aufbaues sogar eine noch etwas höhere als das Naturprodukt. Feuer, Glanz und Klarheit sind wie bei den besten natürlichen Exemplaren und in den optischen Eigenschaften, wie Licht- und Doppelbrechung, Farbe und Dichroismus, besteht völlige Übereinstimmung. Die heutige Technik vermag alle Farbvarietäten des Rubins herzustellen, von der dunklen Siam-Varietät und dem taubenblutfarbigen Birma-Rubin bis zum hellrosa, durch geringeren Chromgehalt ausgezeichneten Korund, wie er in Amerika bevorzugt wird. Es ist keine Methode bekannt, deren Anwendung die sichere Unterscheidung eines fehlerfreien synthetischen Rubins von einem natürlichen gleicher Beschaffenheit ermöglichte. Bis vor kurzem noch galten die unter dem Mikroskop erkennbaren Einschlüsse der Steine als Erkennungsmittel für die Herkunft, insofern die synthetischen Rubine kleine rundliche Bläschen, die natürlichen dagegen manchmal, aber nicht immer, mikroskopisch kleine Flüssigkeitseinschlüsse von mehr eckiger Form, sowie winzige braune Nädelchen aufweisen. Nachdem aber die verbesserten Herstellungsmethoden die Bläschenbildung und das Auftreten der oben erwähnten Anwachsstreifen in immer steigendem Maße zu vermeiden gelernt haben, fehlt es an einem sicheren Unterscheidungsmittel. Es wäre unter diesen Umständen ein unbegründetes Vorurteil, das künstliche Produkt für schlechter zu halten als das natürliche, wie es auch niemandem einfallen würde, etwa synthetisch hergestelltes Gold geringwertiger einzuschätzen. Der künstliche Stein ist eben keine Verfälschung, sondern eine wohlgelungene Nachahmung des natürlichen mit allen Eigenschaften des letzteren. Mit Recht wird deshalb auch die Unterscheidung zwischen echten und unechten Rubinen zurückgewiesen und lediglich zwischen natürlichen und künstlichen oder synthetischen Steinen unterschieden. Alle Bemühungen, z. B. des Syndikats der Edelsteinhändler in Paris, die bevorzugte Stellung und die hohen Preise der Natursteine zu halten, werden schon an der Unmöglichkeit einer Unterscheidung beider Produkte scheitern.

Die fortgesetzten Bemühungen der chemischen Technik, neben dem Rubin auch andere Korunde verschiedenartigster Färbung synthetisch herzustellen, hatten vollen Erfolg, und zwar kommen bei der Darstellung im wesentlichen dieselben Prinzipien zur Anwendung wie bei der Rubingewinnung. Bereits im Jahre 1908 glaubte Louis Paris, daß ihm die Synthese des blauen Saphirs gelungen sei und zwar durch Zusatz von Kobaltoxyd zur geschmolzenen Tonerde in Gegenwart von etwa 2% Kalk oder Magnesia. Dadurch wurde erreicht, daß der Schmelzfluß, der sonst bei der Kristallisation andere Substanzen als Chrom unverändert ausscheidet, sich blau färbt. Aber diese blauen Saphire erwiesen sich, schon ihrer chemischen Zusammensetzung nach, nicht identisch mit den natürlichen, die kein Kobalt enthalten, ein höheres spezifisches

Gewicht besitzen und hexagonal kristallisiert sind im Gegensatze zu der amorphen Masse des künstlichen Produktes. Erst Verneuil gelang die einwandfreie Synthese des blauen Saphirs mit allen seinen charakteristischen, physikalischen und chemischen Eigenschaften, indem er der Tonerde geringe Mengen von Titansäure und Eisenoxyd zusetzte. Offenbar gibt es aber auch blaue Saphire, die durch ein niederes Chromoxyd gefärbt sind, wie auch schon Frémy aus dem Umstand, daß bei der Rubingewinnung zuweilen blau oder violett gefärbte Varietäten erhalten wurden, auf Chrom als das färbende Agens geschlossen hatte. Die Elektrochemischen Werke in Bitterfeld stellen gleichfalls blaue Saphire von hervorragender Beschaffenheit her in allen Farbnuancen vom hellblauen Ceylon-Saphir bis zum dunklen stahlblauen Korund, deren Herstellung anderwärts zum Teil noch nicht gelungen sein soll. Die Einzelheiten der Darstellungsmethoden entziehen sich der Kenntnis und werden, wie überall, geheim gehalten. Farblose und hellblaue Saphire nehmen übrigens unter der Einwirkung von Radiumstrahlen eine sehr schöne gelbe Farbe an, wie auch sonst die Korunde vielfach Farbänderungen infolge von Bestrahlungen erleiden.

Von den übrigen Korunden, deren synthetische Herstellung völlig gelungen ist, seien besonders hervorgehoben: der prachtvoll glänzende farblose Korund (Leukosaphir) der gelbe Korund in verschiedenen Farbschattierungen („orientalischer Topas"), der sogenannte orientalische Amethyst, lila oder violett in der Farbe, und schließlich der neuerdings auf den Markt gelangte grüne Korund, der unter dem Namen „orientalischer Smaragd" bekannt ist. Die erwähnten farblosen Korunde sind nächst dem Diamanten die schönsten und feurigsten Edelsteine, die es überhaupt gibt und kaum vom Diamanten zu unterscheiden. Der synthetisch hergestellte Alexandrit, der dunkelgrasgrüne bis smaragdgrüne pleochroitische Chrysoberyll, ist nach seinem optischen Verhalten und seiner Dichte wohl gleichfalls als Korund anzusprechen. Er zeigt gegenüber dem natürlichen soviele Unterscheidungsmerkmale, daß für den Fachmann eine Verwechslung ausgeschlossen erscheint.

Nach derselben Methode, die bei der Herstellung der Korunde Anwendung findet, lassen sich auch farblose, rote und blaue Spinelle von großer Schönheit künstlich gewinnen. Da aber der Spinell, der aus einer Verbindung von Tonerde und Magnesia mit geringem Zusatz von Chromoxyd bzw. Eisenoxydul besteht, weniger edle Eigenschaften aufweist als der Korund, so liegt kein Bedürfnis zur fabrikatorischen Erzeugung vor.

Nicht gelungen ist bis heute die synthetische Herstellung von Türkisen, einer wasserhaltigen Verbindung der Tonerde mit der Phosphorsäure, die außerdem Eisenoxyd und Kupferoxyd enthält. Die auf den Markt kommenden geringwertigen Imitationen sind unter dem Namen „Wiener Türkise" bekannt und nicht allzu schwer von dem Naturprodukt zu unterscheiden.

Die Synthese des Smaragds, dieses schönen grünen Edelsteines, der als ein Beryllium-Tonerde-Silikat einer anderen Klasse von Edelsteinen angehört, ist ebenso wie die des Diamanten, der aus reinem kristallisierten Kohlenstoff besteht, zwar in wissenschaftlichem Sinne einwandfrei gelungen, aber die bisher von Hautefeuille und Perrey bzw. Moissan und anderen erhaltenen Kristalle in der Größe von Bruchteilen eines Millimeters sind so klein, daß eine praktische Verwendung nicht in Frage kommt. Es unterliegt jedoch kaum einem Zweifel, daß die Zeit nicht meht fern ist, in der es gelingen wird, auch diese schönsten aller Edelsteine in großen Kristallen zu erzeugen.

Die synthetischen Steine gelangen nun in immer steigendem Maße zur Verwendung als Schmucksteine, im Kunstgewerbe und für technische Zwecke, die ein

besonders hartes Material erfordern. Die meisten und schönsten Exemplare werden als Schmucksteine verwendet. Da die synthetischen Edelsteine verhältnismäßig wohlfeil sind — der Preis für Rubine und Saphire in bestem Schliff beträgt zur Zeit wenige Mark pro Karat —, so ist nunmehr auch der weniger Bemittelte in der Lage, derartige Edelsteine zu erwerben. Die Schlifformen, welche man den Edelsteinen zu geben pflegt, sind mannigfaltig und durch die im Laufe der Zeit gemachten Erfahrungen der Steinschleifer bedingt. Durchsichtige Steine werden anders geschliffen als undurchsichtige (Türkis), wie auch der Grad der Färbung von bestimmendem Einfluß auf die Wahl der Schlifform ist. Bei durchsichtigen Steinen hängt der Gang der Lichtstrahlen und damit die Orientierung der Facetten von der Stärke der Lichtbrechung und Farbenzerstreuung ab; immer muß, um das Maximum der Wirkung zu erreichen, die äußere Form des Steines den optischen Verhältnissen so vollkommen wie möglich angepaßt sein. Für das Kunstgewerbe eröffnet sich durch den Gebrauch der farbenprächtigen und unverschleißbaren Steine an Stelle von unscheinbaren Imitationen, ein weites Feld der Betätigung.

Die stetig anwachsende Verwendung der synthetischen Steine für technische Zwecke, insbesondere als Lagersteine in Uhren und empfindlichen Meßinstrumenten aller Art wie in Elektrizitätszählern, Kompassen, Wassermessern, Wagen usw. beruhen auf der Härte und auf der überaus gleichmäßig bleibenden Beschaffenheit des Materials. Schon seit 1700 verwendet man zu Zapfenlagern feiner Uhren harte Edelsteine, weil diese von den aus Stahl bestehenden Achsen der Räder bei deren andauernder Bewegung nicht angegriffen werden und die Reibung von hartem Stahl auf gewissen Edelsteinen sehr gering ist. Es wurden dazu nicht nur Rubine, sondern ebenso häufig auch Spinelle, Topase, Chrysoberylle usw. benutzt und zwar meist die trüben, undurchsichtigen und unreinen Stücke, die wegen ihrer Beschaffenheit nicht zum Schmuck geeignet und daher billiger waren. Diese natürlichen Steine zeigten aber bei der Bearbeitung nicht selten weichere Stellen, und aus diesem Grunde und vor allem auch wegen der erheblich geringeren Kosten verwendet man heute in der Uhrenindustrie fast ausschließlich die synthetischen Rubine und Saphire und von diesen wiederum vorwiegend den Rubin, der durch seine schöne Farbe, Härte, gute Polierfähigkeit, Gleichmäßigkeit und Billigkeit allen erforderlichen Anforderungen am besten entspricht. Der farblose synthetische Saphir wird meist dort angewendet, wo die Steine nicht sichtbar sind, also für flache Lochsteine und Unruhsteine. Die Form der Steine und ihre Anordnung richtet sich dabei nach der Beschaffenheit der Zapfen, die entweder zylindrisch oder kegelig sind. Im Fall der geraden zylindrischen Zapfen läuft die Welle mit den Zapfen zwischen zwei Lochsteinen, wobei die Zapfenansätze als Begrenzungen dienen, bei kegeligen Zapfen dagegen sind vier Steine erforderlich. Während zwei Lochsteine als Zapfenlager dienen, bilden zwei Decksteine, gegen die sich die abgerundeten Zapfenenden anlegen, die Begrenzung. Die Gestalt der Lochsteine ist mannigfaltig und richtet sich nach den verschiedensten Bedürfnissen. Es werden flache und mehr oder weniger gewölbte Lochsteine in der Uhrmacherei verwandt. Allen gemeinsam ist, daß die Bohrung nicht genau zylindrisch, sondern ballig abgerundet ausgeführt wird. Dadurch wird größere Beweglichkeit der Welle und gleichzeitig infolge der Wirkung von Kapillaritätskräften erreicht, daß das Öl gerade den Stellen der Berührung von Zapfen und Stein zugeführt wird, die es am meisten zur Verringerung der Reibung benötigen. Es ist kein unbedeutender Industriezweig, der sich mit dem Bohren und Schleifen derartiger Lagersteine befaßt. Die Steine werden mittels Kupferscheibe, die mit Diamantsplittern besetzt ist, in dünne Scheiben zersägt,

aus denen durch schnell rotierende Kupferröhrchen, die wieder Diamantkronen tragen, runde Scheibchen herausgesägt werden. Diese werden dann, gleich in größerer Zahl auf einmal, mit den gewünschten Bohrungen versehen und zwar mit Hilfe von Sonder-Bohrmaschinen, bei denen der am Ende abgeflachte, mit feinem, ölbefeuchtetem Diamantpulver bestrichene und in schnelle Umdrehung versetzte Stahlstift die Löcher gewissermaßen ausschleift. Die weitere Verarbeitung, das Schleifen und Polieren, erfolgt dann zum größten Teil mit der Hand in den zahlreich vorhandenen kleinen Werkstätten.

Referate.

Der neue Theodolit.

Von H. Wild, *Heerbrugg. (S.-A. aus „Schweiz. Zeitschr. für Vermessungswesen und Kulturtechnik, Zürich, Jahrg. 1925. 31 S. 8⁰ mit Abb.*

Zur Ergänzung des Aufsatzes von Schermerhorn in *dieser Zeitschrift* ***45.*** *S. 16. 1925,* und meines Referats, ebenda ***45.*** *S. 353. 1925,* möchte ich nicht unterlassen, diesen Aufsatz des Konstrukteurs des „neuen Theodolits“ ebenfalls hier anzuzeigen.

Die Versuche des Verf. zur Ersetzung der bisherigen Theodolitkonstruktionen durch eine neue gehen bis 1905 zurück. Das erste Modell, dessen Programm besonders die Ablesung der beiden gegenüberliegenden Kreisstellen, ohne daß der Beobachter seine Stellung vor dem Fernrohrokular zu ändern brauchte, durch ein einziges Mikroskopokular und mit einem einzigen Schraubenmikrometer aufgestellt hatte, zeigte sich wegen großer konstruktiver Schwierigkeiten und besonders wegen ganz ungenügender Ausführung als Mißerfolg. Einige Jahrzehnte später kam der Verf. auf die Idee der gegenläufigen Abbildung der zwei Kreisgegenstellen und Koinzidenzeinstellung der zwe Teilstriche durch Feinverdrehung des Kreises, verfolgte sie aber nicht weiter, bis er erkannt hatte daß diese Koinzidenzeinstellung in der Tat der Schraubenmikrometerablesung durch Einstellung eines Teilstriches zwischen die Doppelfäden nicht nur gleichwertig, sondern überlegen ist. Ende 1919 begann er in Jena den Bau des „neuen Theodolits“, an den folgende Anforderungen gestellt wurden: 1. möglichst kleine Abmessungen und Gewicht; 2. bequemer Gebrauch; 3. geringe Empfindlichkeit gegen Transport, Regen, Staub; 4. Vereinigung der Kreisgegenstellenbilder an feiner Trennungslinie und automatische Mittelbildung der Ablesung im Gesichtsfeld eines Mikroskopokulars; und zwar 5 durch die hohle Achse, damit die Kreise luftdicht abgeschlossen werden konnten und zur automatischen Zentrierung der Mikroskopoptik; 6. optisches Mikrometer zur Koinzidenzeinstellung der Kreisgegenstriche und zur unmittelbaren Ablesung des Mittels bis auf 1″ oder 2″; 7. Anordnung von Glas als Träger der Lagekreis- nnd Höhenkreisteilungen, weil damit ein bedeutender Fortschritt der Genauigkeit der Teilungen im Vergleich mit Metallteilungen sicher war.

Dieses Programm verwirklichte der von Schermerhorn beschriebene Jenaer Theodolit im Jahre 1921. Nach seiner Übersiedlung nach Heerbrugg fügte Wild bei einer Neukonstruktion den vorstehenden sieben Anforderungen sieben neue hinzu: 8. Mikroskopableseokular unmittelbar neben dem Fernrohrokular; 9. weitere Steigerung der Ziel- und Ablesegenauigkeit; 10. Horizontierlibelle im Mittelpunkt der Alhidade; 11. möglicher Neigungswinkel des Fernrohrs bis zu $\pm 65^0$; 12. weitere Steigerung der Genauigkeit der Kreisteilungen; 13. leichte und staubdichte Verpackung des Instruments in Metallhülse; 14. größere Festigkeit des Stativs bei nicht vermehrtem Gewicht. Auf den Punkt 14 ist in der Tat die größte Sorgfalt zu verwenden; es war und ist dem Ref. zweifelhaft, ob überhaupt Kreisablesung bis auf die einzelne ″ oder gar ″ und Holzstativ des Instruments zusammenpassen.

Die Beschreibung dieses nunmehr in laufender Reihenausführung befindlichen Theodolits wird in dem Heft ziemlich ausführlich gegeben. Es ist nicht notwendig, hier nochmals auf Einzelheiten einzugehen. Die Hauptabmessungen sind nahezu dieselben wie beim Jenaer Theodolit, z. B. Lagekreis 90 mm, Höhenkreis 50 mm Durchmesser; erwähnt seien wenigstens die festen und geschlossenen

Lager der Fernrohrkippachse, und auch die Ziellinie des Fernrohrs ist nicht justierbar. Beide Achsen seien von der Werkstatt aus auf 10″ richtig gelegt, und der Wegfall von Justiereinrichtungen sei angenehm und für die Erhaltung des Instruments vorteilhaft; es müssen jedoch an der Horizontierlibelle und der Höhenlibelle ja jedenfalls Richtschrauben vorhanden sein. Das zentrisch durchschlagbare Fernrohr hat ein dreiteiliges Objektiv von 40 mm Öffnung, dessen Brennweite durch die negative Fokussierlinse auf 215 mm vergrößert wird, so daß ein 9 mm-Okular 24fache Vergrößerung des Fernrohres gibt; die Helligkeit der Bilder sei gegen bisherige Fernrohre bedeutend erhöht. Der Verf. erinnert bei der Gelegenheit daran, daß er im Jahre 1908 diesen Typ des fest verschlossenen Fernrohrs von konstanter Gesamtlänge und mit negativer innerer Fokussierlinse eingeführt hat und erörtert kurz die Anwendung eines solchen Fernrohrs als Fadenentfernungsmesser. Es zeigt sich, daß der anallaktische Punkt des Fernrohrs zwar kein ganz fester Punkt der Ziellinie (Schnittpunkt mit der Kippachse) ist, aber sich für verschiedene Entfernungen selbst bis zu wenigen Metern herunter nur so wenig verlegt, daß diese Verschiebung auch für die größte bei der „optischen“ Entfernungsmessung überhaupt mögliche Schärfe nicht in Betracht kommt.

Die zweite Hälfte der Schrift ist Genauigkeitsnachweisen gewidmet, ausführlich für die Theodolite 209, 202 und 278 angegeben, kurz zusammengestellt für über ein Dutzend weiterer Instrumente, z. T. mit 360°-, z. T. mit 400^g-Teilung. Die Versuchsmessungen, die sich auf den Gesamtwinkelfehler beziehen, sind z. T. im Freien (Helmstangen zweier Türme in 5 und 3 km Entfernung), z. T. im Keller (weiße Strichmarken an den Wänden in nur 6 m Entfernung) gemacht, wobei freilich das Instrument im ersten Fall auf einem Steinpfeiler, im zweiten auf einer Gußeisensäule stand. Die Genauigkeitsergebnisse für diese Instrumente, die nicht ausgesucht, sondern der Reihenfolge der Ablieferung entsprechend genommen wurden, sind so erstaunlich, daß sie mehr als einen Leser, der sie mit andern Teilkreisuntersuchungen und Probemessungen an und mit Theodoliten älterer Einrichtung vergleicht, geradezu verblüffen müssen. *Hammer* †.

Wie kontrolliert man am einfachsten die Vergrößerung optischer Instrumente?

Von A. Sonnefeld. *Central-Ztg. f. Opt. u. Mech.* ***46.*** *S. 149. 1925.*

Beim Verkauf optischer Instrumente an das Publikum ist es besonders wünschenswert, daß der Verkäufer dem Kunden die Leistung des Instrumentes verständlich vorführt. Hierzu gehört in erster Linie die Möglichkeit, den Käufer über die Vergrößerung der viel gekauften Instrumente, wie Lupen, Lesegläser, Handfernrohre und Mikroskope aufzuklären. Verf. gibt Verfahren an, die der gestellten Aufgabe gerecht werden sollen. Die zwischen 2- und 8fach liegende Vergrößerung der Handfernrohre kann an einer gut beleuchteten Tafel geprüft werden, die ein Quadratnetz mit Quadratseiten von 10 bis 20 mm Länge und einer Strichdicke von 1 bis 2 mm trägt; diese Tafel muß mindestens $^1/_4$ qm groß sein und 10×10 Quadrate enthalten, sowie in einem Abstand von nicht unter 4 m durch das Instrument betrachtet werden. Die Vergrößerung kann beurteilt werden, indem der Kunde mit beiden Augen auf die Tafel blickt, und zwar mit dem einen durch das Handfernrohr. Jeder einigermaßen intelligente Käufer wird ohne Mühe den Vergleich der in dem bewaffneten und dem unbewaffneten Auge entstehenden Bilder ausführen können. Wenn nicht beide Augen gleichzeitig die Beurteilung durchführen können, muß eine einäugige Prüfung mit Hilfe eines kleinen Okularperiskopes vorgenommen werden. Zu diesem Zweck wird unmittelbar vor das Okular eine kleine Glasplatte unter 45° Neigung gegen die optische Achse angebracht und seitlich in einigen Zentimetern Abstand eine zweite versilberte Glasplatte parallel zu der unversilberten. Man sieht dann mit dem einen Auge zwei Bilder, ein großes und ein kleines, und kann ihr Größenverhältnis abschätzen. Da der Käufer wahrscheinlich auch die Lichtschwächung bemerken wird, muß der Verkäufer in der Lage sein, seinen Kunden über die Unvermeidbarkeit derselben aufzuklären.

Die Kontrolle der Vergrößerung von Lupen und Lesegläsern verläuft in ähnlicher Weise. Man nimmt zwei Quadratnetze von 5 mm Seitenlänge und 1 qdcm Größe zu Hilfe. Die eine Tafel betrachtet man aus deutlicher Sehweite (Nahepunkt oder normaler Arbeitsabstand), die andere Tafel wird durch die Lupe betrachtet, diese natürlich näher der Augenlinie. Beide Tafeln werden so lange verschoben, bis bei unveränderter Kopf- und Lupenlage die Quadrate scharf erscheinen. Diese

zweiäugige Methode kann wieder zu einer einäugigen umgestaltet werden durch Verwendung des schon beschriebenen Planspiegelperiskopes. Es ist zweckmäßig, nun die versilberte Glasplatte verschiebbar zu machen und dann nach Scharfeinstellung des mit der Lupe gesehenen Netzes den Periskopspiegel so lange zu verstellen, bis auch das zweite mit dem ersten in derselben Ebene befindliche Netz scharf erscheint. Besonders zu beachten ist, daß die Prüfung zu erheblich anderen Werten führen kann, als nach der bekannten Vergrößerungsformel für Lupen. Dies hängt ganz von dem Nahepunkts- bzw. Arbeitsabstand des prüfenden Auges ab und ist individuell sehr verschieden.

Am schwierigsten ist die Feststellung der Mikroskopvergrößerung. Als Periskop wird hier der Abbesche Zeichenapparat verwendet. Dieser gestattet das Nachzeichnen eines mikroskopischen Objektes in einer Zeichenebene, die in deutlicher Sehweite (250 mm) seitlich vom Mikroskop liegt. Man betrachtet ein grobes noch ausmeßbares Objekt zunächst unter einem schwach vergrößernden Mikroskop (etwa 100 ×) und zeichnet das Bild mit dem Zeichenapparat nach. Als Objekt dient am besten eine kleine Millimeterteilung auf Glas. Durch Vergleich des gezeichneten Bildes mit dem Objekt ist die Vergrößerung dieses Hilfsmikroskops bestimmt. Nun wird ein sehr feines Objekt mit nicht mehr feststellbarer Größe unter demselben Hilfsmikroskop betrachtet und aufgezeichnet. Darauf geschieht dasselbe mit dem gleichen Objekt unter dem stark vergrößernden Mikroskop, welches nun auf seine Vergrößerung geprüft werden soll. Durch Vergleich der beiden, erst mit dem schwachen, dann mit dem starken Mikroskop gezeichneten Bilder liefert diese Methode unter Einführung der Vergrößerung des Hilfsmikroskops die wirkliche Vergrößerung des starken Mikroskops, und zwar ohne Mühe mit 5% Genauigkeit. — Die Konstruktion des Zeichenapparats sei kurz beschrieben. Er besteht aus einem durch zwei Prismen gebildeten Würfel, die Berührungsfläche der beiden rechtwinkligen Prismen ist unter 45° gegen die optische Achse des Mikroskops geneigt. Es können also auch Objekte beobachtet werden, die senkrecht zur Blickrichtung seitlich liegen. Mit dem Würfel ist starr ein Arm verbunden, der einen größeren drehbaren Planspiegel trägt. Der Arm liegt bei der Benutzung des Apparates horizontal; die Zeichenebene kann also gleichzeitig mit dem durch das Mikroskop entworfenen Bilde gesehen und das Bild leicht nachgezeichnet werden. — Eine weitere Prüfung der Vergrößerung eines Mikroskops kann mit Hilfe eines Okularmikrometers erfolgen. In der Brennebene des Okulars befindet sich eine kleine nach 0,1 mm geteilte Glasskala und auf dieser wird durch das Mikroskopobjektiv eine auf dem Objekttisch befindliche ebensolche Teilung abgebildet. Diese Methode liefert direkt die Vergrößerung des Mikroskopobjektivs, die dann noch mit derjenigen des Okulars zu multiplizieren ist, um die gesamte Mikroskopvergrößerung zu erhalten. *Flügge.*

Ein neuer Fernrohrtypus, der besonders für Spektrometer geeignet ist.

Von Ch. S. Hastings, *Journ. Opt. Soc. America* ***11.*** *S. 63. 1925.*

Es wird ein neues Fernrohrobjektiv beschrieben, das für alle Wellenlängen konstanten Brennpunktsabstand besitzt, obgleich die Brennweiten nicht unveränderlich sind. Die Vorzüge eines solchen Systems liegen auf der Hand: nach einmaliger Einjustierung sind keine weiteren mehr nötig; höchstens braucht eine geringe Einstellfreiheit wegen der chromatischen Aberration des Auges zu bestehen; ferner enthebt die Tatsache, daß alle Wellenflächen den Kollimator eben verlassen, von der Notwendigkeit, das Prisma des Spektroskops in das Minimum der Ablenkung zu drehen; die Lage einer beobachteten Linie im Spektrum kann mittels einer Teilung am Prismentisch festgestellt werden. Als Beispiel für ein derartiges Objektiv beschreibt Verf. ein Triplet, unter der Annahme, daß die Dicken der Einzellinsen vernachlässigt werden können. Er gibt die notwendigen Konstanten für zwei Glassorten, die meistens für Fernrohrlinsen in Betracht kommen.

Linie	Typus Flint	Typus Kron
C	1,612917	1,516176
λ 5614	1,620264	1,520163
F	1,629770	1,525098
G	1,640796	1,530556
h	1.646408	1,533246

Für die Summen der reziproken Radien jeder Einzellinse gibt Verf. die logarithmischen Werte an:

$$\log A_1 = 8{,}72370; \qquad \log A_2 = 8{,}91570; \qquad \log A_3 = 9{,}21020.$$

Die zweite Linse ist eine negative Linse und vom Flint-Typus; aus dem gleichen Material besteht die erste Linse; die dritte Linse ist vom Kron-Typus. Die erste und zweite Linse sind durch einen Luftabstand von 52,07 cm getrennt, während die zweite und dritte Linse verkittet sind. Für die Linie F beträgt der Brennpunktsabstand von der dritten Linse 24,13 cm bei 76,2 cm Brennweite. Die Abweichung im Brennpunktsabstand für die übrigen Wellenlängen sind so gering, daß dieselben vollkommen zu vernachlässigen sind.

In dieser Weise sind mannigfaltige Lösungen möglich. So benutzt Verf. auch ein Vier-Linsensystem, wo die Aufeinanderfolge der chromatischen Vergrößerungsdifferenz umgekehrt ist. Wenn den Hilfslinsen im Kollimator negative Stärke statt der Stärke Null gegeben wird, kann die effektive Brennweite erheblich gesteigert werden bei nur geringer Zunahme der Fernrohrlänge. Die angulare Öffnung des Kollimators kann auf einen geeigneten Wert gebracht werden, ohne daß die Größe des Spektroskops sehr zunimmt. Ein breiterer Spalt ist verwendbar, man erhält ein Spektrum, das frei von longitudinalen Linien ist, die durch Unregelmäßigkeiten der Spaltränder hervorgebracht werden könnten. Derartige Fernrohre bezeichnet Verf. als orthokumatische Fernrohre. *Flügge.*

Große oder kleine Prismengläser?

Von H. Möller. *Deutsche Opt. Wochenschrift.* ***11.*** *S. 250. 1925.*

In den Prismengläsern mit Porroschem System treten an den Ein- und Austrittsflächen der Glasteile gegen Luft erhebliche Lichtverluste durch Reflexion auf. Eine bessere Lichtausnutzung versuchte man zu erzielen, indem man die ganze Konstruktion verkleinerte, erhielt dafür aber mehr den Vorteil leichteren Gewichts, beeinflußte aber die Lichtverluste nur unwesentlich, da zwar der Glasweg verkürzt wurde, aber die Zahl der Ein- und Austrittsflächen dieselbe blieb. Diesem Mangel will das Möllersche Dachkantprisma abhelfen, indem die beiden Prismen des Porroschen Systems durch ein einziges Dachkantprisma ersetzt werden. Dieses Prisma besteht aus Borosilikatkron und ist daher hervorragend farblos und lichtdurchlässig. Es kann mit Objektiven großer Öffnung verwandt werden, ohne daß die Totalreflexion für die Randstrahlen gefährdet ist. Statt der vier Ein- und Austrittsflächen des Porroschen Systems sind hier nur deren zwei vorhanden, außerdem ist das ganze Prisma so flach und kompakt, daß eine leichte uud kleine Form der Prismengläser erreicht wird. Der Helligkeitsgewinn gegenüber den Porroprismengläsern beträgt ca. 10 bis 20%. Die Bildwirkung ist reflexfreier. Mit diesen neuen Prismen sind das Feldglas Tourix und die Westentaschengläser Theatis und Theatour ausgestattet. Ersteres besitzt 6fache, letztere besitzen $3^1/_2$- und 5fache Vergrößerung. *Flügge.*

Binokulare Lupen für Präzisions- und Kontrollarbeiten.

Von B. Humpert. *Deutsche Opt. Wochenschr.* ***11.*** *S. 62. 1925.*

Die binokularen Lupen als Werkstattgerät.

Von Engelmann. *Werkstattstechnik.* ***19.*** *Heft 7.*

Bei feinmechanischen Arbeiten werden optische Hilfsinstrumente benötigt, bei denen es weniger auf starke Vergrößerung als vielmehr auf Übersichtlichkeit und Bewegungsfreiheit des Objekts ankommt. Es handelt sich also um optische Instrumente, die gegenüber den Lupen die Vorteile eines größeren Sehfeldes und weiteren Arbeitsabstandes aufweisen. Dieser Forderung genügen die binokularen Lupen der optischen Werke E. Leitz. Dieselben sind eigentlich keine Lupen, sondern zusammengesetzte Mikroskope mit Bildumkehrung. Dadurch, daß das Objektiv eine verhältnismäßig lange Brennweite hat, wird der Arbeitsabstand recht beträchtlich. Durch den Einbau von zwei Fernrohrprismen zwischen Objektiv und Okular ist das Bild des Gegenstands seitenrichtig und aufrecht. Die Blickachsen liegen nicht parallel, sondern sind leicht konvergent und gestatten dadurch eine erleichterte Einstellung auf den richtigen Augenabstand und damit verbundenes Zusammenbringen der Bilder. Das Instrument kann jedem Augenabstand und jeder Sehschärfe angepaßt werden. Durch das räumliche Sehen treten die Einzelheiten des Objekts so deutlich her-

vor, daß man geneigt ist, die Vergrößerung zu überschätzen. Durch Anbringung an zweckmäßig gebauten und verstellbaren Stativen wird eine bequeme Kopfhaltung gewährt. Die binokulare Lupe wird in zwei Ausführungen hergestellt, eine mit 14 cm Arbeitsabstand und $3^1/_2$-, 7- und $10^1/_2$facher Vergrößerung, die andere mit $7^1/_2$ cm Arbeitsabstand und 10-, 20- und 30facher Vergrößerung.

Flügge.

Erschütterungsfreie Aufstellung für Metallmikroskope.

Von F. Engelmann. *Zeitschr. f. Metallkunde. Januarheft 1925.*

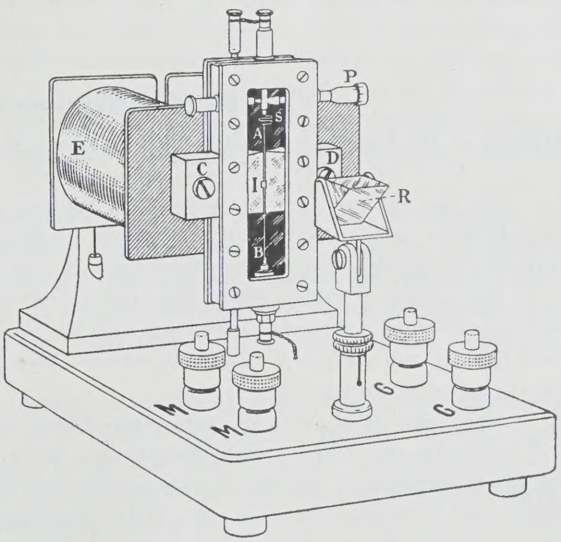
Die Teile des mikrophotographischen Gerätes sind auf einer Dreikantschiene ausgerichtet. Diese hängt an einer Tischplatte, die in der Mitte schlitzförmig geöffnet ist, an vier starken Federn. Die vier Federn tragen ein eisernes Gerüst, das starr mit der Dreikantschiene verbunden ist und eine Schiene mit Laufgewicht enthält. Je nach der Verteilung der Reiter auf der Dreikantschiene wird zur Erhaltung des Gleichgewichts das Laufgewicht eingestellt. Auf diese Weise werden alle Erschütterungen vermieden. Bei Nichtbenutzung wird die ganze Schwingvorrichtung mittels eines Hebels an der Tischfläche festgeklemmt. Diese Einrichtung stammt von den optischen Werken E. Leitz.

Flügge.

Ein neues Vibrationsgalvanometer.

Von W. J. H. Moll, *Journ. of Scient. Instr.* **2.** *S. 361. 1925.*

Die üblichen Vibrationsgalvanometer sind eigentlich dem Prinzip nach Gleichstrominstrumente, deren bewegliches System aus einer besonders leichten Spule oder Nadel besteht. Durch Änderung der auf das bewegliche System wirkenden Richtkraft können diese Instrumente auf die Frequenz des zu messenden Wechselstroms so abgestimmt werden, daß ihr System in Resonanzschwingungen gerät, deren Amplitude dann ein Maß für die Stromstärke darstellt. Die Empfindlichkeit geht indessen bei höheren Frequenzen infolge der erforderlichen großen Richtkraft stark zurück, außerdem wird durch die unvermeidliche Impedanz der festen bzw. beweglichen Spule die Spannungsempfindlichkeit ziemlich vermindert. Ein weiterer Nachteil, den allerdings nur das Drehspulgalvanometer besitzt, besteht in der relativ großen Trägheit des Systems, so daß das Instrument lange Zeit braucht, um zur Ruhe zu kommen. Eine Vergrößerung der Dämpfung ist dabei als Abhilfe nicht zweckmäßig, da dadurch die Selektivkraft und infolgedessen die Empfindlichkeit herabgesetzt wird.



Ein Instrument, das alle diese Mängel nicht aufweist, ist das Saitengalvanometer. Es vereinigt hohe Empfindlichkeit mit dem Vorzug, schnell anzusprechen, die Saite hat vernachlässigbare Induktivität und die Richtkraft kann in einfacher Weise durch Änderung der Saitenspannung eingestellt werden. Der einzige Nachteil, weshalb zweifelsohne das Saitengalvanometer seither nicht als Vibrationsgalvanometer verwendet wurde, ist seine große Dämpfung, infolge deren das Instrument praktisch auf alle Frequenzen anspricht.

Bei dem neuen Saitenvibrationsgalvanometer ist nun die Dämpfung künstlich vermindert dadurch, daß die Masse der Saite vergrößert wurde. Dies wurde damit erreicht, daß in der Mitte der Saite ein kleiner Spiegel unsymmetrisch befestigt wurde (s. Abbildung). Dadurch geht zwar die Empfindlichkeit etwas zurück, aber dieser Verlust wird durch die Vergrößerung der Selektivkraft annähernd wieder ausgeglichen. Die Schwingungsbewegung des Spiegels ist ziemlich kompliziert, da infolge der Trägheit und des Luftwiderstandes zu den Transversalschwingungen noch Drehbewegungen hinzukommen. Die Schwingungszahl ist daher auch nicht mehr der Saitenspannung

verhältnisgleich, sie kann jedoch trotzdem durch Änderung der Spannung in weitem Bereich abgestimmt werden. Die Beobachtung wird, wie gewöhnlich, dadurch ermöglicht, daß von dem Spiegel auf eine Skala das Bild eines erleuchteten schmalen Schlitzes geworfen wird. Die Bildverbreiterung stellt dann ein Maß für den zu messenden Wechselstrom dar. Die Gesamtansicht des Vibrationsgalvanometers ist in der Abbildung dargestellt. *E* ist ein kleiner Elektromagnet von etwa 3 Ohm Widerstand und für einen maximalen Strom von 1 Amp. Zu seiner Speisung dienen ein oder zwei kleine Akkumulatoren mit einem Reguliervorwiderstand, die an die Klemmen *M M* angeschlossen werden. Die Klemmen *G G* sind mit den Enden *A* und *B* der aus Wolframdraht von 0,01 mm Durchmesser bestehenden 8 cm langen Saite verbunden. Sie befindet sich zwischen den Polstücken *C* und *D* und trägt in der Mitte den oben erwähnten Spiegel I von $1{,}2 \times 0{,}6$ mm Abmessung, für den sich in dem Polstück *C* eine Aussparung befindet. Am oberen Ende der Saite ist eine dünne Feder *S* angelötet, die ein Überspannen der Saite verhindern soll. Die Spannung der Saite kann mit Hilfe der Schraube *P* eingestellt werden. Das ganze System befindet sich in einem luftdichten Gehäuse, das vorn ein breites Glasfenster hat. Da die Saite ziemlich kräftig und der Spiegel sehr leicht ist, erübrigt sich eine besondere Arretierung. Das rechtwinklige Prisma *R* reflektiert das Bild des über dem Instrument anzubringenden erleuchteten Schlitzes auf den Spiegel.

Die Empfindlichkeit des Galvanometers nimmt bei höheren Frequenzen ebenfalls etwas ab. Die auf 1 m Skalenabstand mit einem Strom von 10^{-6} Amp. erzielbare Bildbreite beträgt für etwa 500 Ω äußeren Widerstand bei 100 Per/sec 75 mm und bei 1000 Per/sec noch 12,5 mm. Bei 100 Per/sec lassen sich dann noch 10^{-8} Amp. mit dem Instrument nachweisen. Beim äußeren Widerstand Null wird bei vollem Feld die Dämpfung zu groß. Schwächt man das Feld, so steigt die Empfindlichkeit. Man erhält dann für 10^{-6} Amp. bei 100 Per/sec 35 mm Bildbreite und bei 1000 Per/sec 6 mm Bildbreite. Da der Instrumentwiderstand, der praktisch unabhängig von der Frequenz ist, etwa 50 Ω beträgt, entsprechen diese letzteren Werte einer Spannungsempfindlichkeit von 5×10^{-5} Volt. *Lh.*

Bücherbesprechungen.

Bulletin of the Institute of Practical Geophysics of the Supreme Council of Public Economy. Nr. 1. 1925. 8⁰. 281 S. Leningrad 1925.

Das hier erstmals vorliegende Jahrbuch des russischen Institutes für praktische Geophysik gibt einen Einblick in die lebhafte und erfolgreiche Tätigkeit seiner Mitarbeiter, soweit es die kurzen in englischer Sprache gegebenen Zusammenfassungen der durchweg russischen Abhandlungen gestatten.

Den wissenschaftlichen Mitteilungen gehen voran ein Nachruf auf W. Bauman von J. Bahurin und eine Übersicht über die Gliederung und die Aufgaben des Institutes von S. Mushketow. Zwei Beiträge von Bahurin behandeln Studien über das Feld eines magnetischen Ellipsoids und die magnetischen Arbeiten des J. P. G.

Über das radiometrische Aufschlußverfahren und seine praktische Anwendung berichtet L. Bogojavlensky. Vier weitere Mitteilungen von A. Petrowsky beziehen sich auf die Theorie der Erdstrom-Messung, auf das Kraftlinienfeld von Erzlagern, auf die Bodenuntersuchungen mit Gleich- und Wechselströmen sowie mit elektromagnetischen Wellen. In besonderer Ausführlichkeit bespricht P. Nikiforov die physikalischen Grundlagen der gravimetrischen Schürfmethode und ihre Anwendung bei der Untersuchung der Platinvorkommen im Ural. Tcherepennikov untersuchte die Radioaktivität der Bakuer Erdgase, Prokopov die Gase von Schlammvulkanen.

Da der außerordentliche Bodenreichtum Rußlands für die wissenschaftlichen Aufschlußmethoden ein besonders lohnendes Feld bietet, wird die angewandte Geophysik seitens des Institutes in Leningrad in Zukunft besondere Förderung erwarten dürfen. *G.*

G. Berndt, Die Gewinde, ihre Entwicklung, ihre Messung und ihre Toleranzen, Bearbeitet im Auftrage von Ludw. Loewe & Co. A.-G. in Berlin. 8⁰. XVI. 657 S. mit 395 Abb. und 287 Tab. Julius Springer, Berlin 1925. Geb. 36 M.

Das hier angezeigte Buch verdient eingehende Besprechung, weil die Gewindefrage für das

Arbeitsgebiet dieser Zeitschrift in mehrfacher Hinsicht von Wichtigkeit ist. Die Feintechnik ist nicht nur an der Entwicklung der Gewindesysteme selbst interessiert, sondern auch an der Schaffung und weiteren Ausbildung der schon jetzt außerordentlich vielseitigen Gewindemeßapparate.

Das Buch zerfällt äußerlich in die drei großen Abschnitte: Entwicklung der verschiedenen Gewindesysteme, Gewindemessungen, Gewindetoleranzen und ihre Prüfung. Der erste Abschnitt zeigt uns in Form geschichtlicher Darstellung eindringlich, welcher Wirrwarr auf dem Gebiet der Gewinde bis zur Einführung einheitlicher Normen zu überwinden war. Gewiß verdankten auch die ungezählten Gewindesysteme früherer Jahrzehnte ihren Ursprung zumeist begründeten Überlegungen sowie der Hoffnung auf allgemeine Annahme. Ein Zwang zur Beschränkung bestand zudem solange nicht, als die Werkstätten unter so günstigen wirtschaftlichen Verhältnissen arbeiteten, daß die Selbstherstellung der Schrauben ohne wesentlichem Einfluß auf die Gesamt-Gestehungskosten waren und ihre Austauschbarkeit innerhalb der eigenen Fertigung genügte.

Bis zum Beginn der Normungsarbeiten des NDJ hat eigentlich nur das Löwenherz-Gewinde, dessen endgültige Annahme i. J. 1892 erfolgte, namhaft Verbreitung gefunden. Bei diesem System hat sich gleichzeitig die Wichtigkeit einheitlicher Aufsicht und Prüfung erwiesen. Seit 1918 ist das L-Gewinde bekanntlich unter geringen Änderungen in das metrische Gewinde der NDJ übergegangen.

In Deutschland sind bis jetzt genormt: Für Befestigungsschrauben das metrische Gewinde (Din 13/14), das Whitworth-Original-Gewinde (Din 11) und das Wh-Gewinde mit Spitzenspiel (Din 12); als Feingewinde das metrische Feingewinde 1—9 (Din 241/244 und 516/521) sowie das Wh-Feingewinde 1 – 2 (Din 239/240); als Rohrgewinde Wh-Original (Din 259) und Wh-Gewinde mit Spitzenspiel (Din 260); ferner die Sondergewinde mit Trapez-, Sägen- und Rundprofil.

Der zweite Abschnitt behandelt eingehend und übersichtlich die Methoden und Apparate zur Gewindemessung, geordnet nach den Bestimmungsgrößen: Außendurchmesser, Kerndurchmesser, Flankendurchmesser, Steigung, Flankenwinkel. Die Tätigkeit auf diesem Gebiet ist eine überaus große und fruchtbare gewesen. Es ist sinnfällig und zugleich erklärlich, daß die Mannigfaltigkeit der Meßmethoden dort am größten ist, wo auch die technischen Schwierigkeiten der Messung am größten sind, also beim Flankendurchmesser. Die gesteigerten Anforderungen an die Zuverlässigkeit der Gewindemessungen hat zu einer weitgehenden Verwendung optischer Hilfsmittel geführt. Namentlich Carl Zeiss hat sich auf dem Gebiet der „Optotechnik“ außerordentliche Verdienste erworben.

Die einzelnen Meßmittel werden von Berndt kritisch betrachtet und ihre Zuverlässigkeit an Hand von Fehlerschätzungen bewertet. Diese Schätzungen gestatten wohl eine relative Vergleichung verschiedener Meßverfahren, wichtiger wäre indes die Beifügung von Beispielen durchgeführter Messungen. Bei den Fehlerangaben der Tab. 191 (S. 327) ist versehentlich nur für die optische Messung des Flankendurchmessers eine Steigerung der Genauigkeit durch Wiederholung der Messung in Rechnung gestellt.

Die fast verwirrende Vielseitigkeit der Gewinde-Meßmethoden zeigt, daß dieses Gebiet noch in voller Entwicklung begriffen ist. Man wird nicht umhin können, später auch die Methoden und Apparate der Gewindemessung selbst zu normen, um größere Einheitlichkeit herbeizuführen.

Besondere Arbeit ist noch zu leisten bei dem Problem der Messung von Innengewinden, durch die auch die Frage der Toleranzen festere Stützung finden würde.

Der dritte Abschnitt gibt eine eingehende Übersicht über das schwierige Gebiet der Toleranzen und ihrer Prüfung.

Berndt hat der deutschen Industrie mit dem vorliegenden Buch ein Standard-Werk geschenkt, das sich im Meßlaboratorium wie im Ingenieurbüro als zuverlässiger Berater einbürgern wird; es ist nicht ein bescheidener Baustein, wie es der Verfasser nennt, sondern ein wohlgefügtes Gebäude. *G.*

L. W. Pollak, Rechentafeln zur harmonischen Analyse. Gr. 8°. (250×330 mm²). 23 S. Text. 137 Tafeln in Facsim.-Druck. Joh. Ambr. Barth, Leipzig 1926. In Leinw. geb. 30 M.

Für die Berechnung der Koeffizienten einer Fourierschen Reihe größerer Periodenlänge standen bisher nur vereinzelte Hilfsmittel zur Verfügung. So einige Tafeln von Kämtz für die

Vielfachen der sin und cos von 15°, 30°, 45°, 60°, 75° in Jelineks Anleitung zur Ausführung meteorologischer Beobachtungen nebst einer Sammlung von Hilfstafeln, 5. Aufl., herausgegeben von der Direktion der k. k. Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik in Wien 1910 (im Kommissionsverlage von Wilhelm Engelmann in Leipzig), ferner die graphischen Tafeln von Beattie (*diese Zeitschr.* ***31.*** *S. 356. 1911*). Anlaß zur Bearbeitung der vorliegenden Tafeln waren zunächst Untersuchungen über den Rhythmus meteorologischer Elemente. Der Ausbau der Tafeln soll jedoch all den wissenschaftlichen und technischen Zwecken dienen, bei denen die harmonische Analyse Anwendung findet.

Pollak macht in der Einleitung eingehende Mitteilungen über die von ihm verwendeten rechnerischen und technischen Hilfsmittel unter besonderer Hervorhebung der hier besonders bewährten selbstschreibenden Additions- und Subtraktionsmaschine Goerz A der Optischen Anstalt C. P. Goerz A.-G. in Berlin-Zehlendorf und gibt dann eine Übersicht über die Einrichtung der Tafeln mit ergänzenden Bemerkungen über ihre Prüfung und Zuverlässigkeit, daran anschließend eine ausführliche Gebrauchsanweisung sowie Beispiele.

Tafel I erhält die Werte $z = \frac{360^0}{n}$, $\cos i z$, $\log \cos i z$, $\sin i z$, $\log \sin i z$ für $n = 3$ bis $n = 40$; Tafel II giebt die ersten tausend Vielfache für die sin und cos $\left(i \frac{360}{n}\right)$ für $n = 3$ bis $n = 24$ sowie $n = 26, 28, 30, 34, 36, 38$.

Es besteht kein Zweifel, daß das verdienstvolle Werk Pollaks bei den Ingenieuren und Physikern dankbarste Aufnahme finden wird. *G.*

F. M. Feldhaus, Tage der Technik. Illustr. technisch-historischer Abreißkalender für 1926. 5. Jahrgang. R. Oldenburg, München 1925. 5 M.

Der Feldhaus-Kalender hat sich in der technischen Welt bereits überall Bürgerrecht erworben. Er muß auch unserem Leserkreis warm empfohlen werden, da sein Inhalt sich nicht etwa auf die Maschinentechnik beschränkt, sondern die Technik im weitesten Sinne umfaßt. So ruft er uns nicht nur die hundertjährigen Todestage Georg von Reichenbachs (21. 5.) und Joseph Frauenhofers (7. 6.) durch Wort und Bild ins Gedächtnis, sondern auch bemerkenswerte Erfolge aus dem Leben der Brüder Siemens, Borsigs und anderer Pioniere der Technik des Inlandes und des Auslandes. Zahlreiche alte und neue Stiche und Bilder, sowie Gedichte und Sentenzen beleben die buchtechnisch schön ausgeführten Blätter. *G.*

W. Kossel, Valenzkräfte und Röntgenspektren. Zwei Aufsätze über das Elektronengebäude des Atoms. 2. vermehrte Aufl. 89 S. Mit 12 Abb. 8°. Berlin 1924, Julius Springer. 3.60 M.

Die zweite Auflage dieses inhaltsreichen Büchleins ist entsprechend dem Fortschritte der Wissenschaft auf dem hier vorliegenden aktuellen Gebiet nicht unwesentlich erweitert worden, was sich äußerlich in der Vermehrung der Seitenzahl von 69 S. auf 89 S. zu erkennen gibt. Insbesondere ist der Vergleich mit der Lewis-Langmuirschen Theorie gezogen sowie mit anderen hierhergehörigen Theorien. Zudem sind Bohrs neuere Gedanken über die Feingliederung der Elektronenschalen mitberücksichtigt. Dennoch bleibt die Knappheit und Klarheit der Darstellung erhalten, so daß das Heftchen nach wie vor hervorragend geeignet ist, auch weniger speziell vorgebildete Leser in die moderne Atomforschung einzuführen. *Behnken.*

Nachdruck verboten.

Namen- und Sachregister.

ktinometrie: Bimetall. Aktinometer m. Kompensationseinrichtg., Pollak 247.
ɩustik: Vergleichende Geräuschmessung, Küpfmüller 49. — Zur Theorie des Lautsprechers 49. — Die Methoden der „Kurzzeitmessung“ beim Behmlot 248.
n Albada, L. E. W., Weitwinkel-Stereoskop und ein Weitwinkel-Sucher 460.
ıalysatoren (harmonische) s. Rechenapparate.
·naud, J. J., s. Gardener.
chenbrenner, C., Üb. d. Berücksichtigung von Erdkrümmung u. Refraktion bei der mechan. Auswertung von Stereophotogrammen 203. — Üb. ein neues halbautomat. Entzerrungsgerät f. d. prakt. topograph. Gebrauch 333.
tronomie: Der Sternhimmel, Kühl 163. — Mikrometer u. Meßapparate IV., Duckert 176. — Das Zirkumzenital von Nušl u. Frič 210. — Üb. ein neues Prinzip opt. Abbildungen f. Zwecke astronom. Messungen, Gramatzki 256. — Die Marskanäle als opt. Täuschungen, Kühl 257. — Über ein v. *Ibn Sînâ* (Avicenna) hergestelltes Beobachtungsinstrument, Wiedemann 269. — Spiegelteleskop f. die Sternwarte Simeïs-Krim, Grubb and Sons 306. — Das neue Elektro-Mikrophotometer d. Tübing. Sternwarte (Oesterberg), Rosenberg 313. — Der große Meridiankreis u. das Boutysche Mikrometer, Lancelin 401. — Über ein Äquatorial von neuer Form, „Tafel-Äquatorial“ genannt u. hauptsächl. f. astrophysikal. Forschungen bestimmt, Deslandres 459. — *Procès-verbal de la 70me Séance de la Commission géodésique suisse* 464. — Üb. die Zuverlässigkeit der Angaben von Registrierphotometern mit Photozellen. Bemerkg. zu einer Veröffentlichg. des Herrn Rosenberg, Koch 494. — *Early Science in Oxford,* Gunther 408.
hanasiu, G., Monochromator für den Anfang des Ultrarots, das sichtbare Licht u. das Ultraviolett 552.
ıerbach, F., Das Zeisswerk u. die Carl-Zeiss-Stiftung in Jena 557.
sstellungen: Das Instrumentenwesen auf d. Geodät. Woche in Köln, Marchand 454.
Barlow, G., u. H. B. Keene, Kontakt-Konstruktion f. Widerstandskästen 506.
Barometer s. Meteorologie.
Barot, J., Methode zur Messung d. Durchlässigkeitsvermögens v. reflektierend-ablenkenden Systemen 309.
Becker, E., Winddruck- u. Windrichtungsanzeiger m. elektr. Übertragung 44.
Becker, K., Neues Verfahren z. photograph. Aufnahme sehr schnell verlaufender (ballist.) Vorgänge bei Tageslicht 498.
Behnken, H., Üb. Röntgenröhren 287.
Benett, A. H., Aberrationen photograph. Anastigmate großer Brennweite 361.
Bennewitz, K., Üb. elast. Nachwirkg., elast. Hysteresis u. innere Reibung 48.
Berek, M., Ist die Unterscheidg. v. selbstleuchtenden Objekten f. d. Auswirkungen i. Abbildungsvorgang wesentlich? 156. — Zur Theorie d. Spiegelkondensatoren f. Dunkelfeldbeleuchtg. u. Ultramikroskopie. Vervollkommnungen bisheriger Einrichtungen 158. — I. Analyt. Entwicklungen z. Frage rationeller Beleuchtungsanordgn. f. Mikrophotographie u. Mikroprojektion. II. Bericht üb. einen neuen mikrophotograph. Apparat d. Opt. Werke E. Leitz 159. — Betrachtungen z. Darstellg. des Abbildungsvorgangs im Mikroskop u. zur Frage des Auflösungsvermögens im Hellfeld u. Dunkelfeld 258. — Demonstration einiger Photogramme z. Theorie d. opt. Abbildung 308.
Bergmännische Apparate: Neuer Steilschachttheodolit für Nachtragsmessgn., Marchand 120. — Instrumente u. Methoden z. Ermittlung nutzbarer Lagerstätten, Heiland 417.
Berliner, A., Lehrbuch d. Physik in elementarer Darstellung 211.
Berndt, G., Die Gewinde, ihre Entwicklung, ihre Messung und ihre Toleranzen 590.
Biermaß, L., Elektr. Mikrotaster zur Zentrierung einer Kristallfläche in der Achse eines Spektrometers 483.
Biographie: Nachruf auf Prof. Dr. D. h. c. H. Krüss, Blaschke 265. — Florenz Sartorius †, Ambronn 409. — Otto Lummer †, Schulz 465. — Professor Hammer †, Haußmann 513.
Blaschke, A., Nachruf auf Prof. Dr. D. h. c. H. Krüss 265.
Block, W., Über Neuerungen im Bau von Laboratoriumswagen 165. — Über die Konstruktion eines Mikromanometers 220.
Bodócs, S., Die Verallgemeinerung des Hyperbelsatzes der geometr. Optik 49.
Boegehold, H., Der Cosinus-Satz von A. E. Conrady u. T. T. Smith 50. — Zur Vorgeschichte der Abbeschen Theorie der mikroskop. Wahrnehmung 157.
Borelius, G., u. C. H. Johansson, Ausdehnungsmessungen bei tiefen Temperaturen m. Doppelspiegeldilatometer 102.
Bowie, W., *Geodetic Operations in the U. S. and outlying possessions* 260.
Brammer, E, Ein neues magnet. Horizontal-Variometer der Gebr. Ruhstrat-A.-G., Göttingen 576.
Brechung s. Optik.
Breithaupt, G., u. H. Marchand, Neuer Kataster-Theodolit u. Präzisions-Tachymeter 303.
Brillen s. Ophthalmologie.
Broca, A., Ein Pupillenmesser 552.
Brückner, A., Grundzüge d. Brillenlehre für Augenärzte 261.
Butkow, K., Üb. die Berechnung der Aberrationen dritter Ordnung auf Grund der im Twymanschen Interferometer beobachteten Interferenzbilder 95.

Chehire, F. J., s. Nicholson.
Chemie: Chemische Glasprüfungen, Tepohl 389. — Synthetische Edelsteine, ihre Herstellung u. techn. Verwendung, Werner 579.
Chronographen s. Zeitmessung.
Chwolson, O. S., Lehrbuch der Physik IV. Bd. 1. Abt: Das konst. elektr. Feld 408.
v. Cittert, P. H., Monochromator von großer Lichtstärke und mit wenig diffusem Licht 259. — Monochromator (Zuschrift) 560.
Conrady, H. G., Betrachtg. über die Bedeutg. der Foucaultschen Messerschneidenmethode in Anwendg. auf brechende Systeme 209.
Cranz, H., u. H. Härlen, Üb. Apparate z. mechan. Differentiation 365.

Demitriscu, M. G., Untersuchg. eines astronom. Objektivs 359.

Deslandres, H., Üb. ein Äquatorial von neuer Form, „Tafel-Äquatorial" genannt u. hauptsächl. f. astro-physikal. Forschungen bestimmt 459.

Dobson, C. N. B., Photoelektr. Flimmerphotometer 207.

Doležal, E., Internationales Archiv für Photogrammetrie 311.

Drecker, J., Die Theorie der Sonnenuhren 508.

Drehspulgalvanometer s. Elektrizität.

Drehwage s. Schwere u. Geophysik.

Druck: Üb. die Kolbenbewegung der Druckwage, Holborn 95. — Üb. die Konstruktion eines Mikromanometers, Block 220. — Präzisions-Manometer, Zahn 458. — Ein einfaches Verfahren z. Eichg. von Mikromanometern, Levy 515. — Preßluftmesser 541.

Duckert, P., Mikrometer u. Meßapparate IV. 176.

Durchgangsinstrumente siehe Astronomie.

Eden, C. M., u. H. W. B. Gardiner, Eine schnell arbeitende Torsionswage 543.

Egerer, A., Wie fertigt man eine Kartenskizze (Kroki)? 164.

Eitner, B., Spektralphotometer zu Messungen m. d. Photometerbank 502.

Elastizität: Üb. elast. Nachwirkg., elast. Hysteresis u. innere Reibg., Bennewitz 48. — Preisausschreiben der Deutsch. Reichsbahn-Gesellschaft z. Erlangg. eines Spannungsmessers u. eines Schwingungsmessers für die Bestimmung der dynam. Beanspruchg. eiserner Brücken 103. — Die gestreckte Bandfederwage, Hermann 573.

Elektrizität: I. Theoretische Untersuchungen u. Meßmethoden: Zur Theorie des Lautsprechers, Riegger 49.
II. Vorrichtungen z. Erzeugung v. Elektrizität.
III. Meßinstrumente: Herstellg. u. Versilberung von Quarzfäden, Keeley 52. — Eine Umkonstruktion des Zweifaden-Elektrometers, Wulf 505. — Ein Zylinderkondensator z. Messg. kleiner Kapazitäten, Wulf 505. — Kontakt-Konstruktion für Widerstandskästen, Barlow, Keene 506. — Üb. Schlüpfungs- u. Drehzahlmessungen, Vieweg, Linckh 544. — Hochempfindl. Röhrengalvanometer m. Gleichstromrückkopplung, Jaeger, Scheffers 554. — Ein neues Vibrationsgalvanometer, Moll 589.
IV. Beleuchtungsapparate: Zwei neue Quecksilberdampflampen, George 504.
V. Allgemeines.
VI. Literatur: Lehrbuch der Physik IV. Bd. 1. Abt.: Das konst. elektr. Feld, Chwolson 408.

Elektrometer s. Elektrizität.

Elektroskope s. Elektrizität.

Engelmann, F., Die binokularen Lupen als Werkstattgerät 588. — Erschütterungsfreie Aufstellung für Metallmikroskpe 589.

Entfernungsmesser s. Geodäsie VI.

Feldhaus, F. M., Tage der Technik 592.

Fernrohre: Neues vorzügl. anallakt. Fernrohr m. Innenabbildg., Taylor 209.

Flüssigkeiten: Präzisions-Refraktometer für Flüssigkeiten, Lafay 403.

French, E. A. H., Die Herstellg. v. Kupfer-Spiegeln auf Glas 461.

Frequenzmesser s. Elektrizität.

Fröhlich, P., Die Gültigkeitsgrenze d. geometr. Gesetzes d. Lichtbrechg. 359. — Weitere Beobachtungen üb. d. Gültigkeitsgrenze 360.

Galvanometer s. Elektrizität.

Gans, R., Die Ausbreitg. u. Zerstreuung des Lichtes in opt. aktiven Substanzen 50.

Gardener, J. C., u. J. J. Arnaud, Die Bildfeldkrümmung als Funktion der Blendenstellg. 500.

Gardiner, H. W. B., s. Eden.

Geodäsie: I. Basismessungen.
II. Astronomisch-geodätische Instrumente.
III. Apparate zum Winkelabstecken: Eine römische Groma 254.
IV. Winkelmeßinstrumente u. Apparate für Topographie: Vergleichg. des neuen Zeiss-Theodolites mit heutigen Konstruktionen, Schermerhorn 16. — Zum Aufsatz von W. Schermerhorn, v. Gruber 54. — Entgegnung auf die vorstehende Zuschrift von Dr. v. Gruber, Schermerhorn 55. — Ein neuer Steilschachttheodolit f. Nachtragsmessungen, Marchand 120. — Neuer Kataster-Theodolit u. Präzisions-Tachymeter, Breithaupt, Marchand 303. — Der neue Wildsche Theodolit m. Präzisionsdistanzmesser, Hammer 353. — Weitere neue schweizerische „Präzisionsdistanzmesser" 546. — Der neue Theodolit, Wild 585.
V. Höhenmeßinstrumente u. ihre Hilfsapparate: Grundlagen für einen Voranschlag der Genauigkeit von Einwägungen II. O. mit einspielender Libelle, Lüdemann 84. — Neue Reise-Nivellierlatte u. ein Taschen-Universal, Reiss 309.
VI. Tachymetrie: Ein weiterer amerikan. Vorschlag für die Tachymeterablesungen 253. — Neuer Kataster-Theodolit u. Präzisions-Tachymeter, Breithaupt, Marchand 303. — Topograph. Luftaufnahmen 496.
VII. Allgemeines (s. a. Libellen, Planimetrie, Rechen- u. Zeichenapparate): Sinustafel f. senkrechte Meßlatte, Topograph. Abteilg. d. Bayr. Topogr. Büros 210. — Das Instrumentenwesen auf d. Geodät. Woche in Köln, Marchand 454.
VIII. Literatur: Wie fertigt man eine Kartenskizze (Kroki)? Egerer 164. — Sinustafel f. senkrechte Meßlatte, Topograph. Abteilg. d. Bayr. Topogr. Büros 210. — *Geodetic Operations*, Bowie 260. — *Terrestrial and celestial Globes*, Stevenson 463. — *Procès-verbaux de la commission géodesique suisse* 464. — *Annual Report of the Director, U. S. Coast and Geodetic Survey*, Lester Jones 506.

Geophysik: Die Brauchbarkeit der Drehwagen im Felde, Heiland 89. — Nachtrag zu meinem Aufsatz: Die Brauchbarkeit von Drehwagen im Felde, Heiland 164. — Hilfsgeräte z. Darstellg. von Schwerkraftsgradienten u. magnet. Störungsvektoren, Heiland 244. — Untersuchungen üb. Schwerkraft u. Isostasie, Heiskanen 362. — Instrumente u. Methoden z. Ermittlung nutzbarer Lagerstätten, Heiland 417. — Die Entwicklung, Empfindlichkeit u. Verläßlichkeit der Eötvösschen Original-Drehwagen, Pekár 486. — Bemerkungen z. dem Aufsatz von Herrn Dr. D. Pekár, Heiland 559. — Ein neues magnet. Horizontal-Variometer der Gebr. Ruhstrat-A.-G., Göttingen, Brammer 576. — *Bulletin of the Institute of Practical Geophysics of the Supreme Council of Public Economy* 590.

George, H., Zwei neue Quecksilberdampf-Bogenlampen 504.

Geschichte: Eine bisher wenig bekannte Kopie der Peru-Toise vom Jahre 1762, Schmidt 254. — Eine römische Groma 254. — Üb. ein von *Ibn Sînâ* (Avicenna) hergestelltes Beobachtungsinstrument, Wiedemann 269. — Zur Entwicklg. des ausziehbaren Handfernrohrs, v. Rohr 378. — Die Voigtländersche opt. Werkstätte u. ihre Umwelt, v. Rohr 436, 47[illegible] — Die Gnomonik der Araber, Schoy 405. — *Early Science in Oxford*, Gunther 408. — Das Zeisswerk und die Carl-Zeiss-Stiftung in Jena, Auerbach 557.

Gitter s. Spektroskopie.

Glas: Chemische Glasprüfungen, Tepohl 389. — Die Herstellg. v. Kupfer-Spiegeln auf Glas, French 461. — Das Kühlen u. Nachkühlen von Glas, Hampton 50[illegible]

·af, H., Zur qualitativen Untersuchg. u. Demonstration v. Linsenfehlern 307.
·aff, Th., Prismenwirkg. i. Nahteil von Zweistärkengläsern 549.
·amatzki, H. J., Üb. ein neues Prinzip opt. Abbildg. für Zwecke astronom. Messungen 256.
·ubb, Sir H. and Sons, Spiegelteleskop f. die Sternwarte Simeïs-Krim 306.
Gruber, O., Zum Aufsatz von W. Schermerhorn, Vergleichg. des neuenZeiss-Theodolites m.heutigen Konstruktionen 54. — Inversoren 561.
ınther, R. T., *Early Sciene in Oxford* 408.

ammer, E., Der neue Wildsche Theodolit m. Präzisionsdistanzmesser 353.
ampton, W. M., Das Kühlen u. Nachkühlen von Glas 502.
ansen, E. T., Einige beugungstheoret. Probleme 501.
irlen, H., s. Cranz.
armonische Analyse s. Rechenapparate.
astings, Ch. S., Ein neuer Fernrohrtypus, der besonders für Spektrometer geeignet ist 587.
auser, F., Dunkelfeldbeleuchtg. im auffallenden Licht 552.
eiland, C., Die Brauchbarkeit von Drehwagen im Felde 89. — Hilfsgeräte zur Darstellg. von Schwerkraftsgradienten u. magnet. Störungsvektoren 244. — Instrumente u. Methode z. Ermittlung nutzbarer Lagerstätten 417. — Bemerkg. zu dem Aufsatz von Herrn Dr. D. Pekár 559.
eiskanen, W., Untersuchungen üb. Schwerkraft u. Isostasie 362.
enning, F., u. W. Heuse, Üb. ein Mikropyrometer m. spektraler Zerlegung u. die optisch beobachteten Schmelzpunkte einiger Platinmetalle 100. — Die effektive Wellenlänge v. Lichtfiltern u. die Methoden zu ihrer Bestimmung, insbesondere bei der opt. Pyrometrie 530.
ermann, H., Die gestreckte Bandfederwage 573.
erzberger, M., Üb. einen Anastigmaten von Aplanatform 549.
erzog, A., Ein neues Universalokular 50.
euse, W., s. Henning.
euvelink, Hk. J., Die Prüfg. d. Kreisteilungen v. Theodoliten u. Universalinstrumenten 70.
inneberg, P., Die Kultur der Gegenwart, ihre Entwicklung u. ihre Ziele 557.
inrichs, W., Einführg. in die geometr. Optik 53.
iatek, A., Die Beleuchtg. einer Fläche durch einen Spektroskopspalt 96.

v. Hofe, Chr., Üb. die Zulässigkeit von Blasen in opt. Instrumenten 308.
Höhenmessung s. Geodäsie.
Holborn, L., Üb. die Kolbenbewegung der Druckwage 95.
Humpert, B., Einheits-Mikroskopstative 554. — Binokulare Lupen für Präzisions- u. Kontrollarbeiten 588.
Hunt, F. L., *Aeronautic instruments* 462.

Interferometrie: Komparator f. Normalmaßstäbe m. Verwendung v. Lichtwellen als Messungshilfsmittel, Tutton 399. — Universal-Interferometer, Tutton 399. — Torsionsmesser f. Messg. m. Lichtwellen u. seine Verwendung m. d. Universal-Interferometer, Tutton 399.
Ives, H. E., Änderung des photoelektr. Effekts mit der Temperatur bei Kalium-Zellen 51.

Jaeger, R. u. H. Scheffers, Ein hochempfindl. Röhrengalvanometer m. Gleichstromrückkopplung 554.
Johansson, C. H., s. Borelius.
Jones, Lester E., *Annual Report of the Director, U. S. Coast and Geodetic Survey* 506.
Joos, G., Üb. die Durchlässigkeit von Quarzglas 52.
Judin, E., Apparat z. Bestimmung der Vergrößerung der Mikroskope 307.

Kalkspat s. Spektroskopie.
Kalorimetrie s. Wärme.
Kapazität s. Elektrizität.
Kapillaritätskonstante s. Flüssigkeiten.
Karrer, E., Rotierender Sektor 163.
Kathodenstrahlen s. Elektrizität.
Keeley, F. C., Herstellg. u. Versilberung von Quarzfäden 52.
Keene, H. B., s. Barlow.
Kingslake, R., s. Martin.
Koch, P. P., Üb. die Zuverlässigkeit der Angaben v. Registrierphotometern m. Photozellen. Bemerkg. z. einer Veröffentlichg. d. Herrn Rosenberg 494.
Komparatoren s. Maßstäbe u. Längenmessungen.
Kompensatoren s. Elektrizität.
Kondensatoren s. Elektrizität.
Kondensoren s. Optik.
Kossel, W., Valenzkräfte u. Röntgenspektren 592.
Kreisteilungen s. Teilungen.
Krüss, H., Üb. die Tiefe d. Bilder opt. Systeme 213.
Kühl, A., Der Sternenhimmel 163. — Anwendg. d. Kontrasttheorie auf das Fadenmikrometer 208. — Die Marskanäle als opt. Täuschungen 257.
Küpfmüller, K., Vergleichende Geräuschmessg. 49.

Lafay, A., Präzisions-Refraktometer für Flüssigkeiten 403.
Lancelin, F., Der große Meridiankreis u. das Boutysche Mikrometer 401.
Längenmessungen s. Maßstäbe.
Lee, H. W., D. Taylor-Hobson-F/2-Anastigmat 361.
Leiss, C., Ein neuer Monochromator m. Vorzerleger, für das Gebiet von 200 $m\mu$ bis 2 μ 387.
Lenz, R., Die Rechenmaschinen u. das Maschinenrechnen 212.
Levy, F., Ein einfaches Verfahren z. Eichung v. Mikromanometern 515.
Libellen: *Procès-verbal de la 70me Séance de la Commission géodésique suisse* 464.
Lihotzky, E., Üb. Mikroskope u. Doppelokulare für binokulare u. stereoskop. Beobachtg. 501.
Linckh, H. E., s. Vieweg.
Linsen s. Optik.
Literatur (Preislisten, Biographie, siehe diese): Ergebnisse der exakten Naturwissenschaften 53. — Lehrbuch d. Physik in elementarer Darstellg., Berliner 211. — *Terrestrial and celestial Globes*. Stevenson 463. — Die Theorie der Sonnenuhren, Drecker 508. — Die Kultur der Gegenwart, ihre Entwickl. u. ihre Ziele, Hinneberg 557. — Das Zeiss-Werk u. die Carl-Zeiss-Stiftung in Jena, Auerbach 557. — Echt oder Fälschung, Neuburger 558. — Die Gewinde, ihre Entwicklung, ihre Messung u. ihre Toleranzen, Berndt 590. — Rechentafeln z. harmon. Analyse, Pollak 591. — Tage der Technik, Feldhaus 592. — Valenzkräfte u. Röntgenspektren, Kossel 592.
Lote s. Geodäsie.
Lowry, M., u. G. Parker, Verbesserte Heizeinrichtg. für das Refraktometer nach Pulfrich 503.
Lüdemann, K., Grundlagen für einen Voranschlag der Genauigkeit von Einwägungen II. O. mit einspielender Libelle 84.
Luftfahrt: Üb. ein neues halbautomat. Entzerrungsgerät f. d. prakt. topograph. Gebrauch, Aschenbrenner 333. — Die Messg. der Sicht mit dem Sichtmesser, Wigand 411. — *Aeronautic instruments*, Hunt 462. — Topograph. Luftaufnahmen 496.

Manometer s. Druck.
Marchand, H., Ein neuer Steilschachttheodolit für Nachtragsmessungen 120. — S. a. Breithaupt. — Das Instrumentenwesen auf der Geodät. Woche in Köln 454.
Mareographen s. Nautik.
Martin, L. C., Bemerkg. über eine zweckmäßige Bank f. die Prüfg. von Fernrohrobjektiven 260. — Opt. Meßinstrumente 555.

Martin, L. C, u. R. Kingslake, Messg. der chromat. Aberration auf dem Hilgerschen Linsenprüfungs-Interferometer 258.

Maßstäbe u. Längenmessungen: Ausdehnungsmessungen bei tiefen Temperaturen mit Doppelspiegeldilatometer, Borelius, Johansson 102. — Eine bisher wenig bekannte Kopie der Peru-Toise vom Jahre 1762, Schmidt 254. — Komparator f. Normalmaßstäbe m. Verwendg. v. Lichtwellen als Messungshilfsmittel, Tutton 399. — Ein Universal-Interferometer, Tutton 399. — Torsionsmesser f. Messg. m. Lichtwellen u. seine Verwendung m d. Universal-Interferometer, Tutton 399.

Merland, M. A., Über d. Michelson-Cottonsche Methode zur Prüfg. opt. Systeme 97.

Meßmaschine s. Maßstäbe u. Längenmessungen.

Metalle u. Metall-Legierungen: Die Edelstähle, Rapatz 558.

Meteorologie (Thermometrie s. diese): I. Barometer, Aneroide.—II. Anemometer (Winddruck- u. Windrichtungsanzeiger m. elektr. Übertragung, Becker 44. — III. Feuchtigkeitsmesser (Hygrometer, Psychrometer). IV. Regenmesser. — V. Allgemeines: Die Messg. der Sicht m. d. Sichtmesser, Wigand 411. — VI. Literatur: Beobachtungsmethoden d. modernen Meteorologen, Robitzsch 363. — *Aeronautic instruments*, Hunt 462.

Mikrometer: Anwendg. der Kontrasttheorie auf das Fadenmikrometer, Kühl 208. — Mikrometer u. Meßapparate IV., Duckert 176.

Mikroskopie: Üb. ein den Empfindungsstufen des Auges tunlichst angepaßtes Photometer, Stufenphotometer genannt, u. über seine Verwendg. als Farbmesser, Trübungsmesser, Kolloidometer, Kolorimeter u. Vergleichsmikroskop, Pulfrich 35, 61, 109. — Ist d. Unterscheidg. v. selbstleuchtenden u. nicht selbstleuchtenden Objekten f. d. Auswirkungen i. Abbildungsvorgang wesentlich?, Berek 156. — Zur Vorgeschichte der Abbeschen Theorie d. mikroskop. Wahrnehmung, Boegehold 157. — Zur Theorie der Spiegelkondensatoren f. Dunkelfeldbeleuchtg. u. Ultramikroskopie. Vervollkommnungen bisheriger Einrichtungen, Berek 158. — I. Analyt. Entwicklungen z. Frage rationeller Beleuchtungsanordnungen f. Mikrophotogr. u. Mikroprojektion. II. Bericht üb. einen neuen mikrophotograph. Apparat der Opt. Werke E. Leitz, Berek 159. — Betrachtungen z. Darstellg. des Abbildungsvorganges im Mikroskop u. zur Frage d. Auflösungsvermögens im Hellfeld u. Dunkelfeld, Berek 258. — Apparat z. Bestimmung d. Vergrößerung d. Mikroskope, Judin 307. — Üb. Mikroskope u. Doppelokulare f. binokulare u. stereoskop. Beobachtg, Lihotzky 501. — Einheits-Mikroskopstative, Humpert 554. — Erschütterungsfreie Aufstellung für Metallmikroskope, Engelmann 589.

Moeller, H., Lichtstärke u. Sichtvermögen von Ferngläsern 384. — Große oder kleine Prismengläser? 588.

Moeller, L, Die Deviation bei Strommessungen im Meere 212.

Moll, W. J. H., Ein neues Vibrationsgalvanometer 589.

Monochromatoren s. Spektroskopie.

Nautik: Die Deviation bei Strommessungen im Meere, Moeller 212. — Die Methoden der „Kurzzeitmessung" beim Behmlot 248. — Die Messg. der Sicht m. d. Sichtmesser, Wigand 411.

Neuburger, A., Echt oder Fälschung 558.

Nicholson, J. W., u F. J. Chehire, Theorie u. Prüfg. rechtwinkliger Prismen 156.

Nickelstahl s. Metalle.

Nivellierinstrumente s. Geodäsie.

Normalelemente s. Elektrizität.

Objektive s. Optik.

Ophthalmologie: Grundzüge der Brillenlehre für Augenärzte, Brückner 261. — Ein Pupillenmesser, Broca 552.

Optik (s. a. Fernrohre, Interferometrie, Mikroskopie, Ophthalmologie, Photographie, Photometrie, Polarimetrie, Prismen, Spektroskopie, Spiegel): I. Theoretische Untersuchungen u. Meßmethoden: Zur beugungstheoret. Untersuchung opt. Systeme, Richter 1. — Die Verallgemeinerung des Hyperbe'satzes der geometr. Optik, Bodócs 49. — Die Ausbreitg. u. Zerstreuung des Lichtes in opt. aktiven Substanzen, Gans 50. — Der Cosinus-Satz von A. E. Conrady u. T. T Smith, Boegehold 50. — Ein neuer Schwärzungsmesser m. Selenzelle, Toy, Rawling 51. — Änderung des photoelektr. Effekts mit der Temperatur bei Kaliumzellen, Ives 51. — Üb. die Berechnung der Aberrationen dritter Ordnung auf Grund der im Twymanschen Interferometer beobachteten Interferenzbilder, Butkow 95. — Übe[r] innere Beziehungen zwischen den Dingraum und dem durch ein opt Instrument entworfenen Bild[e], v. Rohr 95. — Die Abbesche Zahl, Sonnefeld 96. — Die Beleuchtg einer Fläche durch einen Spektro[-] skopspalt, Hnatek 96. — Üb. di[e] Michelson-Cottonsche Methode zu[r] Prüfg. opt. Systeme, Merland 97. — Die Einteilg. der Entfernungs[-] skalen photograph. Objektive in Zusammenhang mit der Ermitt[-] lung der Objektentfernung, Richte[r] 99. — Ist die Unterscheidg. v[.] selbstleuchtenden und nicht selbst[-] leuchtenden Objekten f. die Aus[-] wirkungen im Abbildungsvorgan[g] wesentlich?, Berek 156. — Zw[ei] neue Methoden z. Bestimmung de[r] Oberfläche u. des opt. System[s], Ronchi 157. — Zur Vorgeschicht[e] der Abbeschen Theorie der mikro[-] skop. Wahrnehmung, Boegehol[d] 157. — Zur Theorie der Spiege[l-] kondensatoren f. Dunkelfeldbe[-] leuchtg u. Ultramikroskopie. Ve[r-] vollkommnungen bisheriger Ei[n-] richtungen, Berek 158. — Schnel[l-] Methode z. trigonometr. Berechn[g.] d. Lichtstrahlenganges durch ei[n] opt. System, Slussareff 160. - Mechan.-graph. Interpolation[s-] methode als Ersatz für d[ie] Hartmannsche Dispersionsforme[l], Sonnefeld 208. — Anwendung [d.] Kontrasttheorie auf das Fade[n-] mikrometer, Kühl 208. — B[e-] trachtg. üb. die Bedeutg. d[er] Foucaultschen Messerschneide[n-] methode in Anwendung a[uf] brechende Systeme, Conrady 20[8]. — Üb. d. Tiefe d. Bilder op[t.] Systeme, Krüss 213. — Üb. e[in] neues Prinzip opt. Abbildg [f.] Zwecke astronom. Messunge[n], Gramatzki 256. — Die Messg. [d.] chromat. Aberration auf de[m] Hilgerschen Linsenprüfungs-Inte[r-] ferometer, Martin, Kingslake 25[8]. — Die Addition von Aberrati[o-] nen, Smith 258. — Betrachtgn. [z.] Darstellg. d. Abbildungsvorgang[es] i. Mikroskop u. z. Frage d. Au[f-] lösungsvermögens i. Hellfeld [u.] Dunkelfeld, Berek 258. — Lupe[n-] vergrößerung, Zschokke 259. [—] Zur qualitativon Untersuchg. [u.] Demonstration v. Linsenfehler[n,] Graf 307. — Apparat z. Besti[m-] mung d. Vergrößerung d. Mikr[o-] skope, Judin 307. — Demonstr[a-] tion einiger Photogramme z. The[o-] rie d. opt. Abbildg., Berek 30[8]. — Üb. die Zulässigkeit v. Blas[en] in opt. Instrumenten, v. Hofe 30[8]. — Methode zur Messg. d. Durc[h-] lässigkeitsvermögens von refle[k-] tierend ablenkenden Systeme[n,] Barot 309. — Untersuchg. ein[es] astronom. Objektivs, Demitris[?] 359. — Die Gültigkeitsgrenze

geometr. Gesetzes d. Lichtbrechg., Fröhlich 359. — Weitere Beobachtgn. üb. d. Gültigkeitsgrenze d. geometr. Gesetzes d. Lichtbrechg., Fröhlich 360. — Die „effektive Wellenlänge“ bei d. Bestimmung d. opt. Drehungsvermögens, Schulz 393. — Geometr. Berechnung d. Beleuchtg. durch Lichtquellen v. einfacher Gestalt, Yamanouti 402. — Allgemeine Lösg. d. Aberrationsgleichungn. I. O., Smith 460. — Die Bildfeldkrümmung als Funktion der Blendenstellg., Gardener, Arnaud 500. — Die hintere Scheitelstärke eines Linsensystems, Smith 500. — Die Theorie der Neutralisation, Smith 501. — Einige beugungstheoretische Probleme, Hanson 501. — Üb. einen Anastigmaten von Aplanatform, Herzberger 549. — Prismenwirkung i. Nahteil von Zweistärkengläsern, Graff 549. — Üb. astigmat. u. orthoskop. Korrektionen, v. d. Pijl 550. — Dunkelfeldbeleuchtg. i. auffallenden Licht, Hauser 552. — Wie kontrolliert man am einfachsten die Vergrößerung opt. Instrumente?, Sonnefeld 586.

Apparate: Üb. ein den Empfindungsstufen des Auges tunlichst angepaßtes Photometer, Stufenphotometer genannt, u. über seine Verwendg. als Farbmesser, Trübungsmesser, Kolloidometer, Kolorimeter u. Vergleichsmikroskop, Pulfrich 35, 61, 109. — Ein neues Universalokular, Herzog 50. — Einige Instrumente zum Nachweis ultraroter Strahlung, Perfekt 103. — Neuer Autokollimator, Wright 162. — Rotierender Sektor, Karrer 163. — Ein neues vorzügl. anallat. Fernrohr m. Innenabbildg., Taylor 209. — Monochromator v. großer Lichtstärke u. mit wenig diffusem Licht, v. Cittert 259. — Bemerkg. über eine zweckmäßige Bank für die Prüfg. von Fernrohrobjektiven, Martin 260. — Kameralinsen von großer Öffnung 262. — Abgeändertes Sphärometer, Rocvell 309. — Photogr. Objektive aus vier getrennten Linsen, Sonnefeld 360. — Aberrationen photograph. Anastigmate großer Brennweite, Bennet 361. — Der Taylor-Hobson-F/2-Anastigmat, Lee 361. — Monochromator 363. — Lichtstärke u. Sichtvermögen von Ferngläsern, Moeller 384. — Neuer Monochromator m. Vorzerleger, für das Ge-Gebiet von 200 $m\mu$ bis 2 μ, Leiss 387. — Ein Weitwinkel-Stereoskop u. ein Weitwinkel-Sucher, v. Albada 460. — Über den Gebrauch von Lichtfiltern bei polarimetr. Messungen, Schulz 468. — Üb. einen Zusatzapparat zum Stufen-Photometer, der zur bequemeren Ermittlung d. Farbtones einer Farbvorlage dient, und daran anschließend Forderung eines gleichabständigen Farbenkreises, Pulfrich 521. — Die effektive Wellenlänge v. Lichtfiltern u. die Methode zu ihrer Bestimmung, insbesondere bei der opt. Pyrometrie, Henning 530. — Ein einfaches Polariskop, Schulz 539. — Über die Zuverlässigkeit der Angaben von Registrierphotometern m. Photozellen, Rosenberg 540. — Ein Pupillenmesser, Broca 552. — Ein Monochromator f. d. Anfang des Ultrarots, das sichtbare Licht u. das Ultraviolett, Athanasiu 552. — Zur Einstellungsgenauigkeit der Babinet-Soleilschen Kompensators, Szivessy 553. — Butter- u. Eintauchrefraktometer, Perry, Roberts 554. — Einheits-Mikroskopstative, Humpert 554. — Monochromator, v. Cittert 560. — Ein neuer Fernrohrtypus, der besonders für Spektrometer geeignet ist, Hastings 587. — Große oder kleine Prismengläser?, Möller 588. — Binokulare Lupen für Präzisions- und Kontrollarbeiten, Humpert 588. — Die binokularen Lupen als Werkstattgerät, Engelmann 588.

III. Literatur: Einführg. in die geometr. Optik, Hinrichs 53. — Grundzüge der Brillenlehre f. Augenärzte, Brückner 261. — Opt. Meßinstrumente, Martin 555.

Ott, L. A., Theorie u. Konstantenbestimmung des hydrometr. Flügels 512.

Parker, G., s. Lowry.

Pekár, D., Die Entwicklg., Empfindlichkeit u. Verläßlichkeit der Eötvösschen Original-Drehwagen 486.

Pendel u. Pendelmessungen: Die Entwickl., Empfindlichkeit u. Verläßlichkeit der Eötvösschen Original-Drehwagen, Pekár 486. — Bemerkungen zu dem Aufsatz von Herrn Dr. D. Pekár, Heiland 559.

Pendeluhren s. Zeitmessung.

Perfekt, D. S., Einige Instrumente zum Nachweis ultraroter Strahlg. 103.

Perry, W., u. C. Roberts, Butter- u. Eintauchrefraktometer 554.

Photographie: Die Einteilg. d. Entfernungsskalen photograph. Objektive im Zusammenhang mit der Ermittlung der Objektentfernung, Richter 99. — I. Analyt. Entwicklungen z. Frage rationeller Beleuchtungsanordnungen f. Mikrophotograph. u. Mikroprojektion. II. Bericht üb. einen neuen mikrophotograph. Apparat d. Opt. Werke E. Leitz, Berek 159. — Photograph. Objektive aus vier getrennten Linsen, Sonnefeld 360. — Aberrationen photograph. Anastigmate großer Brennweite, Bennett 361. — D. Taylor-Hobson-F/2-Anastigmat, Lee 361. — Topograph. Luftaufnahmen 496. — Neues Verfahren z. photograph. Aufnahme sehr schnell verlaufender (ballist.) Vorgänge bei Tageslicht, Becker 498.

Photogrammetrie: Über d. Berücksichtigg. v. Erdkrümmung u. Refraktion bei der mechan. Auswertung von Sterophotogrammen, Aschenbrenner 203. — Internationales Archiv f. Photogrammetrie, Doležal 311. — Üb. ein neues halbautomat. Entzerrungsgerät f. d. prakt. topograph. Gebrauch, Aschenbrenner 333.

Photometrie: Üb. ein den Empfindungsstufen des Auges tunlichst angepaßtes Photometer, Stufenphotometer genannt, u. üb. seine Verwendg. als Farbmesser, Trübungsmesser, Kolloidometer, Kolorimeter u. Vergleichsmikroskop, Pulfrich 35, 61, 109. — Neuer Schwärzungsmesser mit Selenzelle, Toy, Rawling 51. — Änderung des photoelektr. Effekts mit der Temperatur bei Kaliumzellen, Ives 51. — Photoelektr. Flimmerphotometer, Dobson 207. — Das neue Elektro-Mikrophotometer der Tübinger Sternwarte (Oesterberg), Rosenberg 313. — Zur heterochromat. Photometrie, Schaefer 360. — Geometr. Berechnung d. Beleuchtg. durch Lichtquellen von einfacher Gestalt, Yamanouti 402. — Üb. die Zuverlässigkeit der Angaben v. Registrierphotometern m. Photozellen. Bemerkg. zu einer Veröffentlichg. des Herrn Rosenberg, Koch 494. — Spektralphotometer zu Messungen m. d. Photometerbank, Eitner 502. — Über einen Zusatzapparat zum Stufen-Photometer, der zur bequemeren Ermittlung des Farbtones einer Farbvorlage dient, u. daran anschließend Forderung eines gleichabständigen Farbenkreises, Pulfrich 521. — Über die Zuverlässigkeit der Angaben von Registrierphotometern m. Photozellen, Rosenberg 540.

Physiologie: Wird die Leistg. des Auges durch die Farbe der Beleuchtg. beeinflußt?, Schneider 207. — Beidäugiges Sehen und Raumsinn, Trump 460.

van der Pijl, Ch. W., Üb. astigmat. u. orthoskop. Korrektionen 550.

Platinthermometer s. Thermometrie.

Polarimetrie: Die „effektive Wellenlänge“ bei der Bestimmung d. opt. Drehungsvermögens, Schulz

393. — Beiträge z. Theorie des Polarimeters Martens, Tichanowsky 4 4. — Üb. d. Gebrauch v. Lichtfiltern bei polarimetr. Messungen, Schulz 468. — Ein einfaches Polariskop, Schulz 539. — Zur Einstellungsgenauigkeit des Babinet - Soleilschen Kompensators, Szivessy 553. — Butter- u. Eintauchrefraktometer, Perry, Roberts 554.
Pollak, L. W., Bimetall. Aktinometer m. Kompensationseinrichtg. 247. — Rechentafeln z. harmon. Analyse 591.
Preisausschreiben: Preisausschreiben der deutschen Reichsbahn-Gesellschaft z. Erlangg. eines Spannungsmessers u. eines Schwingungsmessers für die Bestimmung d. dynam. Beansprucbg. eiserner Brücken 103.
Prismen: Theorie u. Prüfg. rechtwinkliger Prismen, Nicholson, Chehire 156.
Projektion s. Optik.
Pulfrich, C., Üb. ein den Empfindungsstufen des Auges tunlichst angepaßtes Photometer, Stufenphotometer genannt, u. üb. seine Verwendg. als Farbmesser, Trübungsmesser, Kolloidometer, Kolorimeter u. Vergleichsmikroskop 35, 61, 109. — Üb. einen Zusatzapparat z. Stufen-Photometer, der z. bequemen Ermittlung des Farbtones einer Farbvorlage dient, und daran anschließend Forderung eines gleichabständigen Farbenkreises 521.
Pyrometer s. Thermometrie.

Quadrantelektrometer s. Elektrizität.
Quarz: Geschmolzener blasenfreier Quarz, eine geschichtl. Richtigstellg., v. Schwarz 52. — Üb. die Durchlässigkeit von Quarzglas, Joos 52. — Herstellung u. Versilberung von Quarzfäden, Keeley 52.
Quarzprismen s. Prismen.
Quecksilberbarometer s. Meteorologie.
Quecksilberniveaus s. Libellen.

Radiostereoskopie s. Optik.
Rapatz, F., Die Edelstähle 558.
Rawling, S. O., s. Toy.
Rechenapparate und Rechenhilfsmittel: Die Rechenmaschinen u. das Maschinenrechnen, Lenz 212. — Üb. Apparate z. mechan. Differentiation, Cranz, Härlen 365. — Integrator, Townend 495. — Inversoren, v. Gruber 561. — Rechentafeln z. harmon. Analyse, Pollak 591.
Reflektoren s. Astronomie.
Refraktometer: Präzisions-Refraktometer f. Flüssigkeit., Lafay 403. — Verbesserte Heizeinrichtg. für das Refraktometer nach Pulfrich, Lowry, Parker 503.
Reichsanstalt, Physikalisch-Technische: Gebührenordnung der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt, Abteilung I für Maß u. Gewicht 55. — Tätigkeit d. Phys.-Techn. Reichsanstalt i. J. 1924 139, 185, 225. — Üb. die Konstruktion eines Mikromanometers, Block 220.
Reiss, R., Neue Reise-Nivellierlatte u. ein Taschen-Universal 309.
Repsold, A., Eine Schraubenprüfg. 276.
Reverchon, Der Chronometer-Kongreß 545.
Richter, R., Zur beugungstheoret. Untersuchg. opt. Systeme 1. — Die Einteilg. der Entfernungsskalen photograph. Objektive im Zusammenhang mit der Ermittelg. der Objektentfernung 99.
Riegger, H., Zur Theorie des Lautsprechers 49.
Roberts, C., s. Perry.
Robitzsch, M., Beobachtungsmethoden des modernen Meteorologen 363.
Rocvell, H. S., Abgeändertes Sphärometer 309.
v. Rohr, M., Üb. innere Beziehungen zwischen dem Dingraum und dem durch ein opt. Instrument entworfenen Bilde 95. — Zur Entwicklg. des ausziehbaren Handfernrohres 378. — Die Voigtländersche opt. Werkstätte u. ihre Umwelt 436, 470.
Ronchi, V., Zwei neue Methoden z. Bestimmung d. Oberfläche u. des opt. Systems 157.
Röntgen-Strahlen: Über Röntgenröhren, Behnken 287.
Rosenberg, Das neue Elektro-Mikrophotometer der Tübinger Sternwarte (Oesterberg) 313. — Üb. d. Zuverlässigkeit d. Angaben v. Registrierphotometern m. Photozellen. Erwiderung auf die Bemerkg. des Herrn Koch 540.

Schäfer, Cl., Zur heterochromat. Photometrie 360.
Schall s. Akustik.
Scheffers, H, s. Jaeger.
Schermerhorn, W., Vergleichg. des neuen Zeiss-Theodolites mit heutigen Konstruktionen 16. — Entgegnung auf die vorstehende Zuschrift von Dr. v. Gruber 55.
Schichtweiser s. bergmännische Apparate.
Schmelzpunkt s. Wärme.
Schmidt, M., Eine bisher wenig bekannte Kopie der Peru-Toise vom Jahre 1762 254.
Schneider, O., Wird die Leistg. des Auges durch die Farbe der Beleuchtg. beeinflußt 207
Schoy, K., Die Gnomonik de Araber 405.
Schrauben: Eine Schraubenprüfg. Repsold 276. — Die Gewinde ihre Entwicklung, ihre Messun u. ihre Toleranzen, Berndt 590.
Schulz, H., Die „effektive Wellen länge“ bei der Bestimmung de opt. Drehungsvermögens 393. — Otto Lummer †, 465. — Üb. d Gebrauch v. Lichtfiltern bei polari metr. Messungen 468. — Ein ein faches Polariskop, Schulz 539.
v. Schwarz, M., Geschmolzene blasenfreier Quarz, eine geschichtl Richtigstellg. 52.
Schwere: Die Brauchbarkeit vo Drehwagen im Felde, Heilan 89. — Nachtrag hierzu 164. — Hilfsgeräte z. Darstellg. von Schwe kraftsgradienten u. magnet. St rungsvektoren, Heiland 244. — Untersuchungen üb. Schwerkraf u. Isostasie, Heiskanen 362. — Instrumente u. Methoden z. E mittlung nutzbarer Lagerstätte Heiland 417. — Die Entwicklg Empfindlichkeit u. Verläßlichkei der Eötvösschen Original-Dreh wagen, Pekár 486. — Bemerku gen z. dem Aufsatz von Herr Dr. D. Pekár, Heiland 559.
Selbstinduktion s. Elektrizitä
Siedethermometer s. Meteoro logie u. Thermometrie.
Sieglerschmidt, H., Apparat au Quarzglas z. Bestimmung v. Wärme ausdehnungszahlen bei hohe Temperaturen 374.
Slussareff, M. G., Schnelle Me thode z. trigonometr. Berechng. d Lichtstrahlenganges durch ein op System 160.
Smith, T., Die Addition vo Aberrationen 258. — Allgemein Lösung der Aberrationsgleichu gen I. O. 460. —. Die hinter Scheitelstärke eines Linsensystem 500. — Die Theorie der Neutra lisation 501.
Sonnefeld, A., Die Abbesch Zahl 96. — Mechan.-graph. Inte polationsmethode als Ersatz fü die Hartmannsche Dispersions formel 208. — Photograph. Objek tive aus vier getrennten Linsen 36 — Wie kontrolliert man am ei fachsten die Vergrößerung op Instrumente? 586.
Spektroskopie: Die Beleuchtg einer Fläche durch einen Spektro skopspalt, Hnatek 96. — Mono chromator v. großer Lichtstärke u mit wenig diffusem Licht, v Cittert 259. — Monochromato 363. — Neuer Monochromator m Vorzerleger, für das Gebiet vo 200 mμ bis 2 μ, Leiss 387. — Elektr. Mikrotaster z. Zentrierun einer Kristallfläche in der Achs

eines Spektrometers, Biermaß 483. — Spektralphotometer z. Messungen m. d. Photometerbank, Eitner 502. — Ein Monochromator für den Anfang des Ultrarots, das sichtbare Licht und das Ultraviolett, Athanasiu 552. — Monochromator, v. Cittert 560.
›härometer s. Optik u. Maßstäbe.
›iegel: Die Herstellg. v. Kupfer-Spiegeln auf Glas, French 461.
ereoskopie: Üb.d.Berücksichtigg. von Erdkrümmung u. Refraktion bei der mechan. Auswertg. von Stereophotogrammen, Aschenbrenner 203. — Weitwinkel-Stereoskop u. ein Weitwinkel-Sucher, van Albada 460.
›evenson, E. L., *Terrestrial and celestial Globes* 463.
›ivessy, G., Zur Einstellungsgenauigkeit des Babinet-Soleilschen Kompensators 553.

achymeter s. Geodäsie.
›ylor, E., Neues vorzügl. anallakt. Fernrohr m. Innenabbildg. 209.
›ilungen: Die Prüfg. der Kreisteilungen von Theodoliten u. Universalinstrumenten, Heuvelink 70. — Kreisteilungen 263. — Kreisteilungen 364, 364.
›lemeter s. Geodäsie VI.
›pohl, W., Chemische Glasprüfungen 389.
›eodolit s. Geodäsie.
›ermoelemente s. Thermometrie.
›ermometrie: Üb. ein Mikropyrometer m. spektraler Zerlegung u. die optisch beobachteten Schmelzpunkte einiger Platinmetalle, Henning, Heuse 100. — Die effektive Wellenlänge von Lichtfiltern u. die Methoden zu ihrer Bestimmung, insbesondere bei der opt. Pyrometrie, Henning 530.

Tichanowsky, J., Beiträge z. Theorie d. Polarimeters Martens 404.
Townend, H. C. H., Integrator 495.
Toy, F. C. u. S. O. Rawling, Ein neuer Schwärzungsmesser m. Selenzelle 51.
Transformatoren s. Elektrizität.
Trump, R. J., Beidäugiges Sehen u. Raumsinn 460.
Tutton, A. E. H., Komparator für Normalmaßstäbe m. Verwendg. von Lichtwellen als Messungshilfsmittel 399. — Ein Universal-Interferometer 399. — Torsionsmesser f. Messg. m. Lichtwellen u. seine Verwendg. m. d. Universal-Interferometer 399.

Uhren s. Zeitmessung.

Vieweg, R., u. H. E. Linckh, Über Schlüpfungs- u. Drehzahlmessungen 544.

Wagen u. Wägungen: Über die Kolbenbewegung der Druckwage, Holborn 95. — Üb. Neuerungen im Bau von Laboratoriumswagen, Block 165. — Eine schnell arbeitende Torsionswage, Eden, Gardiner 543. — Die gestreckte Bandfederwage, Hermann 573.
Wärme (Thermometrie s. diese): I. Theoretische Untersuchungen u. Meßmethoden. II. Apparate: Ausdehnungsmessungen bei tiefen Temperaturen mit Doppelspiegeldilatometer, Borelius, Johansson 102. — Apparat aus Quarzglas z. Bestimmung v. Wärmeausdehnungszahlen bei hohen Temperaturen, Sieglerschmidt 374.
III. Literatur.
Wassermesser: Theorie u. Konstantenbestimmung des hydrometr. Flügels, Ott 512.
Wechselstrom s. Elektrizität.
Werner, A., Synthetische Edelsteine, ihre Herstellung u. techn. Verwendung 579.
Weston-Elemente s. Elektrizität.
Wiedemann, E., Üb. ein von *Ibn Sînâ* (Avicenna) hergestelltes Beobachtungsinstrument 269.
Wiegand, A., Die Messg. d. Sicht mit dem Sichtmesser 411.
Wild, H., Der neue Theodolit 585.
Wright, F. E., Neuer Autokollimator 162.
Wulf, Th., Eine Umkonstruktion des Zweifaden-Elektrometers 505. — Ein Zylinderkondensator z. Messg. kleiner Kapazitäten 505.

Yamanouti, Z., Geometr. Berechnung d. Beleuchtg. durch Lichtquellen v. einfacher Gestalt 402.

Zahn, A. F., Präzisions-Manometer 458.
Zählwerke: Üb. Schlüpfungs- u. Drehzahlmessungen, Vieweg, Linckh 544.
Zeitmessung: Die Methoden der „Kurzzeitmessg." beim Behmlot, Werner 248. — Die Gnomonik der Araber, Schoy 405. — Neues Verfahren z. photograph. Aufnahme sehr schnell verlaufender (ballist.) Vorgänge bei Tageslicht, Becker 498. — Die Theorie der Sonnenuhren, Drecker 508. — Der Chronometer-Kongreß, Reverchon 545.
Zschokke, W., Lupenvergrößerung 259.

Fehlerberichtigung.

S. 206. 14. Zeile von oben lies $v_{\frac{\omega+t}{2}} = -\frac{k}{12}(\omega - t)^2$ statt $v_{\frac{\omega+t}{2}} = -\frac{k}{12}(w + t)^2$.

S. 231. 3. Zeile von unten lies 19 statt 91.

S. 484. 6. Zeile von oben lies einige Zehntel X-E. statt einige X-E.

S. 503. 2. Zeile von unten lies C statt φ.

S. 553. 19. Zeile von unten lies 45^0 statt 45^9.

41. 1921. S. 355. In der Schlußformel lies $\frac{m \cdot s}{M \cdot S} = \frac{\sin A}{\sin a} : \frac{L \cdot \cos(A - \gamma) + R \sin(A - \gamma)}{l \cdot \cos(a + \gamma) + r \cdot \sin(a + \gamma)}$

statt $\frac{m \cdot s}{M \cdot S} = \frac{\sin A}{\sin a} \cdot \frac{L \cdot \cos(A - \gamma) + R \cdot \sin(A - \gamma)}{l \cdot \cos(a + \gamma) + r \cdot \sin(a + \gamma)}$.

Verzeichnis der Referenten des Jahrgangs 1925.

Name	Wohnort
Dr. Behnken	Charlottenburg
Dr. Block	Königsberg
Dr. K. F. Bottlinger	Neubabelsberg
Dr. Conrat (*Ct.*)	Charlottenburg
Dr. P. Duckert (*P. D.*)	Lindenberg
W. Dziobek	Charlottenburg
cand. phys. Flügge (*Fl.*)	Berlin
Prof. Dr. J. Frank (*J. Fr.*)	Weihenstephan
Prof. Dr. Göpel (*G.*)	Charlottenburg
Prof. Dr. Dr.-Ing. e. h. E. v. Hammer †	Stuttgart
Dr. C. Heiland	Berlin
Prof. Dr. Henning	Charlottenburg
Dr. L. Janicki (*L. J.*)	Charlottenburg
Dr. W. Keil (*W. K.*)	Charlottenburg
Dr. Klughardt	
Prof. Dr. O. Knopf	Jena
Prof. Dr. D. h. c. H. Krüss †	Hamburg
Dipl.-Ing. Linckh (*Lh.*)	Charlottenburg
Dr. F. Löwe	Jena
Dr. H. Marchand	Cassel
Kapitain Adolf Mensing	Berlin
Dr. Messow (*M.*)	Bergedorf
Prof. Dr. M. v. Rohr	Jena
Prof Dr. O. Schönrock (*Schck.*)	Charlottenburg
Dr. Werner (*Wr.*)	Charlottenburg
Dr. Zinner	München
G. Zipler	Charlottenburg

Verantwortlich für die Redaktion: Oberregierungsrat Dr. F. Göpel in Charlottenburg. — Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.

2E

ZEITSCHRIFT

FÜR

INSTRUMENTENKUNDE.

Organ

für

Mitteilungen aus dem gesamten Gebiete der wissenschaftlichen Technik.

THE LIBRARY OF THE
FEB 11 1926
UNIVERSITY OF ILLINOIS

Herausgegeben

unter Mitwirkung der

Physikalisch-Technischen Reichsanstalt

von

L. Ambronn in Göttingen, **W. Breithaupt** in Cassel, **M. Edelmann** in München, **P. Guthnick** in Neubabelsberg, **O. Günther** in Braunschweig, **W. Haensch** in Berlin, **K. Haußmann** in Berlin, **C. Hensoldt** in Wetzlar, **W. Hildebrand** in Freiberg i. S., **E. Kohlschütter** in Potsdam, **H. Ludendorff** in Potsdam, **H. Maurer** in Berlin, **W. Nernst** in Berlin, **C. Pulfrich** in Jena, **M. v. Rohr** in Jena, **W. Sartorius** in Göttingen, **A. Schmidt** in Cöln a. Rh., **R. Steinheil** in München, **R. Straubel** in Jena, **E. Warburg** in Berlin, **F. Weidert** in Berlin, **E. Wiechert** in Göttingen.

Schriftleitung: **F. Göpel** in Charlottenburg.

Fünfundvierzigster Jahrgang.

1925.

12. Heft: Dezember.

Inhalt:

O. v. Gruber, Inversoren S. 561. — H. Hermann, Die gestreckte Bandfederwage S. 573. — E. Brammer, Ein neues magnetisches Horizontalvariometer S. 576. — A. Werner, Synthetische Edelsteine S. 579.

Referate: Der neue Theodolit S. 585. — Wie kontrolliert man am einfachsten die Vergrößerung optischer Instrumente S. 586. — Ein neuer Fernrohrtypus S. 587. — Große oder kleine Prismengläser S. 588. — Binokulare Lupen S. 588. — Erschütterungsfreie Aufstellung für Metallmikroskope S. 589. — Ein neues Vibrationsgalvanometer S. 589.

Bücherbesprechungen: *Bulletin of the Institute of Practical Geophysics* (Leningrad) S. 590. — G. Berndt, Die Gewinde S. 590. — L. W. Pollak, Rechentafeln zur harmonischen Analyse S. 591. — F. M. Feldhaus, Tage der Technik S. 592. — W. Kossel, Valenzkräfte und Röntgenspektren S. 592.

Namen- und Sachregister S. 593.

Fehlerberichtigung S. 599.

Verzeichnis der Referenten des Jahrgangs 1925 S. 600.

Berlin.

Verlag von Julius Springer.

1925.

Der Postvertrieb erfolgt von Leipzig aus.

Die Zeitschrift für Instrumentenkunde

erscheint in monatlichen Heften und kann im In- und Auslande durch den Buchhandel, die Post oder direkt vom Verlag bezogen werden. Preis vierteljährlich für das In- und Ausland R.-M. 12.—. Hierzu tritt bei direkter Zustellung durch den Verlag das Porto bzw. beim Bezuge durch die Post die postalische Bestellgebühr. Heftpreis R.-M. 4.80.

Wissenschaftliche Original-Beiträge werden honoriert.

Autoren von Arbeiten, die in anderen Zeitschriften des In- und Auslandes erschienen und für die Leser der Zeitschrift für Instrumentenkunde von Interesse sind, werden um Einsendung eines Sonderabzuges gebeten, um darüber im Referate-Teil berichten zu können.

Redaktionelle Anfragen und Mitteilungen wolle man an den Schriftleiter, Oberregierungsrat Prof. Dr. F. Göpel, Charlottenburg 2, Knesebeck-Straße 22, richten.

Die Zeitschrift nimmt **Anzeigen** gewerblichen und literarischen Inhalts, Stellengesuche und -angebote usw. auf und sichert denselben die weiteste und zweckmäßigste Verbreitung.

Preis d. Inland-Anzeigen bei	1/4	1/2	1/1	Seite Umfang
	30.—	60.—	120.—	Goldmark

Bei	6	12	malig. Aufnahme innerhalb Jahresfrist
	10	20 %	Nachlaß.

Kleine Anzeigen: Die einspaltige Millimeterzeile oder deren Raum von Strich zu Strich gemessen: 0,30 Goldmark. Die Umrechnung des Goldmarkbetrages erfolgt zum amtlichen Berliner Dollarkurs am Tage des Zahlungseingangs. (4.20 Goldmark = 1 Dollar.) Die Zahlung hat innerhalb 14 Tagen nach Rechnungsdatum (für Gelegenheitsanzeigen und Stellegesuche sofort bei Bestellung) nur auf Postscheckkonto 118935 Berlin Julius Springer abzug- und spesenfrei zu erfolgen. Bei Zahlungsverzug werden die üblichen Bankzinsen berechnet.

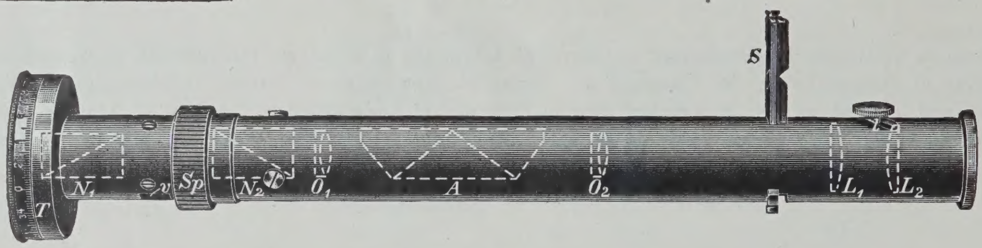
Für Vorzugsseiten, Auslandsanzeigen und Beilagen, Preise auf Anfrage.

Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Linkstr 23/24.

Fernsprecher: Amt Kurfürst 6050—53. Drahtanschrift: Springerbuch. Reichsbank-Giro Konto — Deutsche Bank, Berlin, Depositenkasse C. Postscheck-Konto für Bezug von Zeitschriften und einzelnen Heften: Berlin Nr. 20120. Julius Springer Bezugsabteilung für Zeitschriften. — Postscheck-Konto für Anzeigen, Beilagen und Bücherbezug: Berlin Nr. 118 935 Julius Springer.

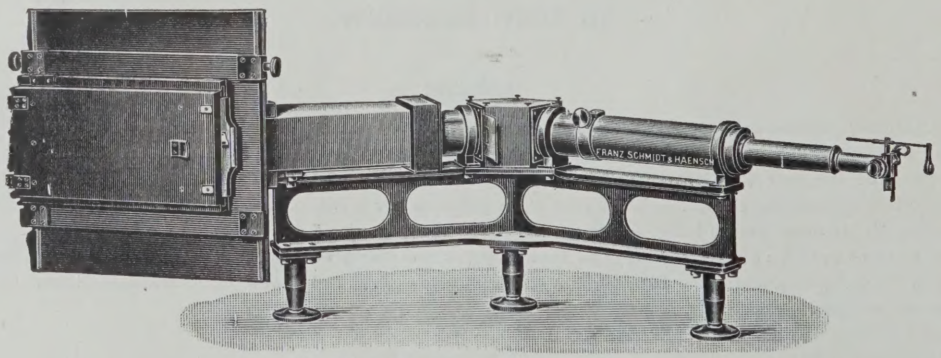
R. FUESS BERLIN-STEGLITZ

Handspektrophotometer



Franz Schmidt & Haensch

Prinzessinnenstr. 16 **BERLIN S 42** Prinzessinnenstr. 16



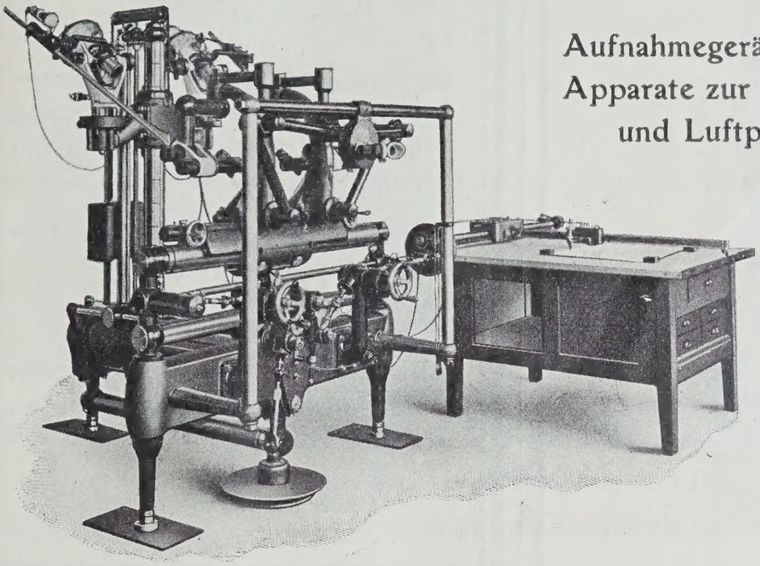
Großer Quarzspektrograph

Polarisations-Spektral-Apparate sowie
Photometer für wissenschaftlichen und technischen Gebrauch.
Projektionsapparate, Spezial-Kugelepiskope und Epidiaskope.
Anomaloskope nach Nagel, Thornersche Augenspiegel.

Preislisten kostenfrei.

[6468]

ZEISS
Stereo-Planigraph



Aufnahmegeräte und automatische Apparate zur Kartierung für Erd- und Luftphotogrammetrie

*

Interessenten erhalten auf Wunsch kostenfrei eingehende Auskunft von Carl Zeiss, Jena

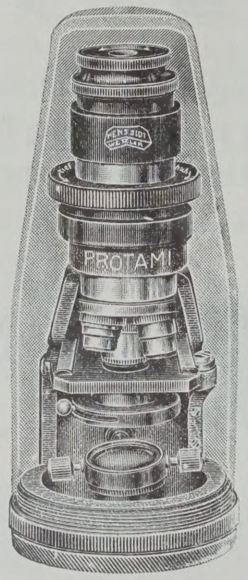
CARL ZEISS JENA

LEITZ

ERNST LEITZ OPTISCHE WERKE **WETZLAR**

AUF WUNSCH KOSTENFREIER VERSAND VON KATALOGEN!

Drei neue
Hensoldt
Konstruktionen



PROTAMI
Klein-Mikroskop
mit Feineinstellung, dreifachem Revolver und
D. R. P. Oelimmersion D. R. P.
Vergrößerung: 40-1450×

★

TELGON
Neues Großfeld-Glas
Vergrößerung 8× Objektiv 30 mm
Sehfeld 150 m auf 1000 m

★

GROSSFELD-DIALYT
Prismenfeldstecher mit Hensoldt-Dachprisma
D. R. P. und neuem Hensoldt-Großfeld-Okular
Vergrößerung 8× Objektiv 36 mm
Sehfeld 150 m auf 1000 m

HENSOLDT WETZLAR

Carl Schleicher & Schüll
Düren, Rheinland

Schutz-Marke. Skizzir-Profil-Papier C.S.&S.

empfehlen

Millimeter-Zeichen- und Pause-Papiere sowie **Pauseleinwand** in Rollen, Bogen und Blocks in unübertroffener Herstellung.

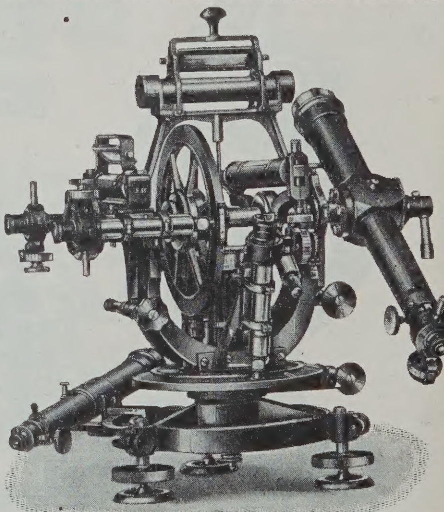
Logarithmen-, Dreieck-, Polarkoordinaten-Papiere.

Registrierpapiere aller Art.

Allerbeste Zeichen-, Pause-, durchsichtige Entwurf-Papiere, Pauseleinwand.

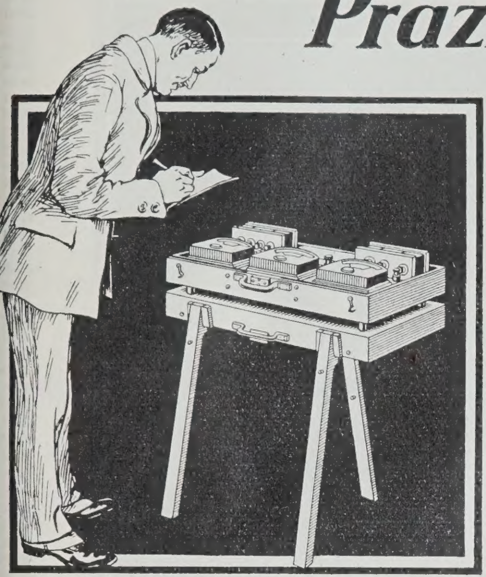
Muster auf Anfrage kostenlos

F. W. Breithaupt & Sohn
CASSEL
Geodätische und astronomische Instrumente



Theodolite Universale Reise-Ausrüstungen Bussolen

Präzisionsmeßgeräte für Wechselstrom

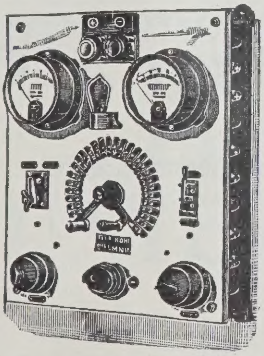


als Prüffeld- oder als Laboratoriumstype zeichnen sich aus durch:

Hohe Meßgenauigkeit und Betriebssicherheit.
Bequeme Nullpunkteinstellung.
Unabhängigkeit von der Temperatur.
Dauerhafte Bauart.
Gefällige Form.

Verlangen Sie unsere Druckschrift!

SIEMENS & HALSKE A.-G.
Wernerwerk, Berlin-Siemensstadt



Experimentier-Schalttafel

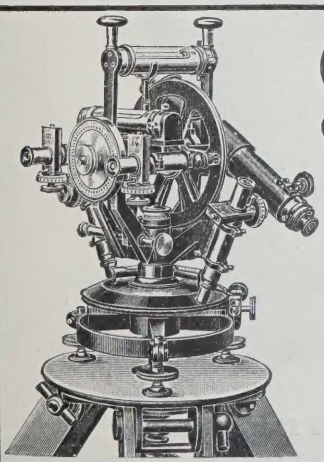
Max Kohl A.G. Chemnitz 5

Seit 1876 bestehend

Physikalische Apparate
Einrichtung von Hörsälen
Experimentier - Schalttafeln
Luftpumpen für Laboratorien
Funkeninduktoren

[6474]

Listen, Kostenanschläge, Beschreibungen usw. auf Wunsch



GUSTAV HEYDE

Gesellschaft für Optik und Feinmechanik m. b. H.
DRESDEN - N. 23

Universale Theodolite
Nivelliere

[6186]

GOERZ

ASTRONOMISCHE

FERNROHRE

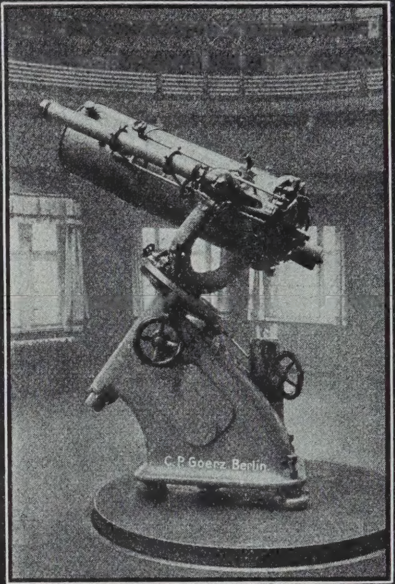
in allen Ausführungen
vom Liebhaber- u. Schulinstrument
bis zu den größten Dimensionen

EINRICHTUNGEN FÜR ASTROPHOTOGRAPHIE

AUSSICHTS-FERNROHRE

Katalog kostenfrei!

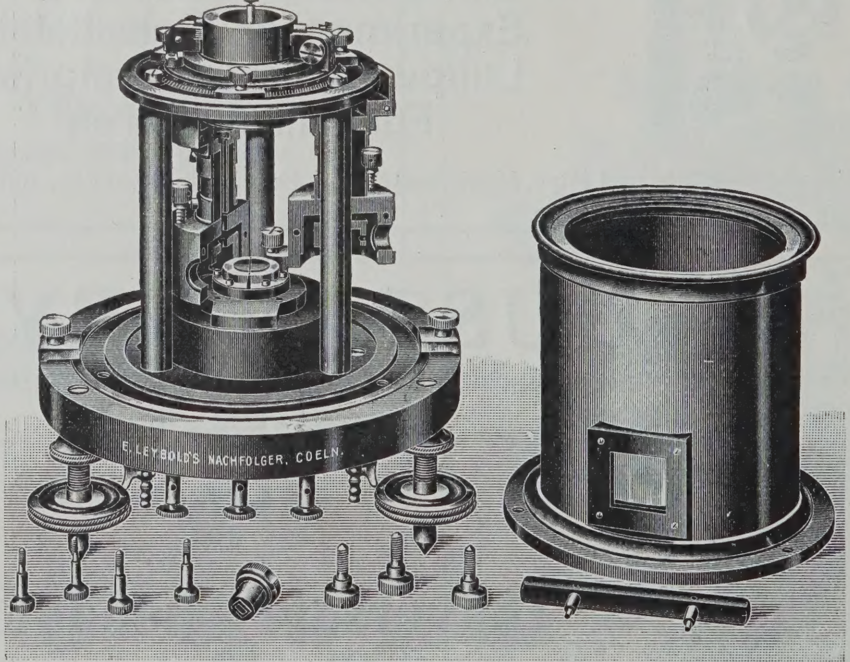
OPTISCHE ANSTALT **C. P. GOERZ** AKTIEN-GESELLSCH.
BERLIN-ZEHLENDORF



E. Leybold's Nachfolger A. G.

KÖLN a. RHEIN

Zweigniederlassung: **BERLIN NW. 7,** Dorotheenstraße 53



Hochempfindliches Elektrometer nach Hoffmann

ASKANIA

Astronomische Instrumente:
Refraktoren, Zenitteleskope, Meridiankreise, Passage-Instrumente, Universal-Instrumente, Spektroskope und Spektrographen, Plattenmeßapparate, Astro- und Mikrophotometer, photographisch registrierende Mikrophotometer.

Geodätische Instrumente:
Universal-Instrumente, Mikroskop-Theodolite, Repetitions-Theodolite, Nivellier-Instrumente, Normalmeter, Komparatoren.

Geophysikalische Instrumente:
Pendelapparate, Drehwagen.

Meteorologische Instrumente:
Ballon-Theodolite, registrierende Ballon-Theodolite, Meteorographen, Barographen, Wolkenspiegel, Meßstation zur Bestimmung der Lage und Geschwindigkeit bewegter Ziele.

Erdmagnetische Instrumente:
Magnetische Normal- und Reise-Theodolite, Deklinatorien, Inklinatorien, Erdinduktoren, Lokal-Variometer, Registrier-Apparate.

Optische Meßinstrumente:
Polarimeter, Saccharimeter, Kolorimeter, Refraktometer, Spektralapparate, Spektroskope, Spektrometer, Primenwinkelmesser, Sphärometer.

Nautische Instrumente:
Kompasse, Kompaßhäuser, Sextanten, Lotmaschinen, Loggs, Chronometer, Variationsmagnetometer.

Aeronautische Instrumente:
Kompasse, Kompaßübertragungen, Statoskope.

Kinotechnische Instrumente:
Kinematographische Aufnahme-Apparate, Stative, Perforiermaschinen.

Fernrohre.

ASKANIA-WERKE A.G.
VORMALS CENTRALWERKSTATT DESSAU U. CARL BAMBERG FRIEDENAU
BAMBERGWERK
BERLIN-FRIEDENAU
KAISERALLEE 87/88

PHYSIKALISCHE UNTERRICHTSMITTEL

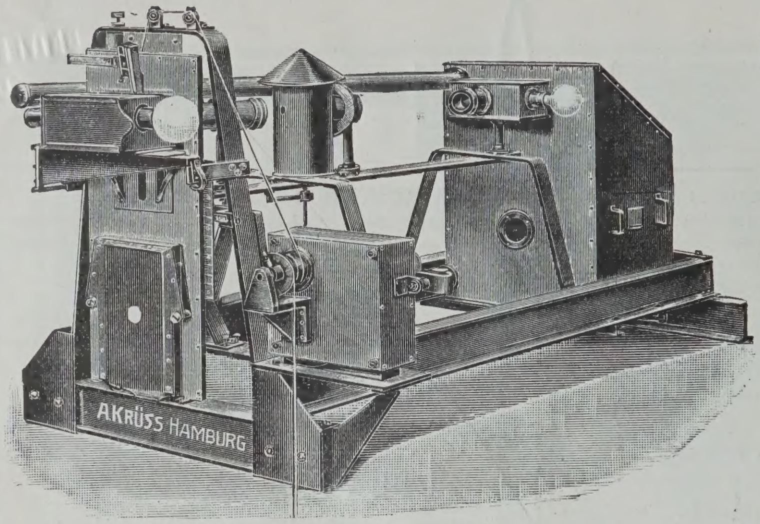
Fabrikmarke PHYWE Fabrikmarke

Herstellung in den größten Serien

mit fast 400 Angestellten und Arbeitern

*

Physikalische Werkstätten A.-G. Göttingen-J.



Photometrisch registrierender Komparator nach Koch-Goos
Registrier-Mikro-Photometer nach Koch-Goos

A. KRÜSS
Hamburg
Gertigstraße 31
Inh. **Dr. Paul Krüss**

Spektroskope
Spektrographen
Kolorimeter
Photometer
Physikal. Apparate
Funkeninduktoren
Projektionsapparate
Lichtbilder

Betriebswirtschaftliche Zeitfragen

Herausgegeben von der Gesellschaft für Betriebsforschung E. V. Frankfurt a. M.
(eh. Gesellschaft für wirtsch. Ausbildung)

Soeben erschien: Achtes Heft:

Industrielle Selbstkosten bei schwankendem Beschäftigungsgrad

Von **Dr.-Ing. H. Müller-Bernhardt**
Fabrikdirektor

36 Seiten mit 10 Abbildungen. — Preis 3 R.M.

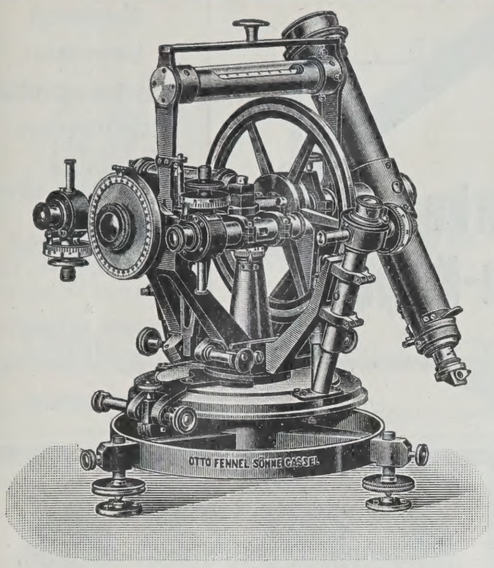
Inhalt: I. Vorbemerkungen zum gegenwärtigen Stand der Theorie von den festen und beweglichen Kosten. II. Werkstoffkosten, Lohnkosten, Gemeinkosten. III. An welchem Maßstab wird der Beschäftigungsgrad gemessen? IV. Welcher Punkt soll als Normalpunkt (=100%) gelten? V. Wie verhalten sich die Gemeinkosten des Materials, des Betriebes und des Vertriebes? VI. Kostenentwicklung, getrennt nach Arten, für das einzelne Erzeugnis. VII. Kostenentwicklung für Erzeugnisse von verschiedenem Veredelungsgrad. VIII. Ermittlung der festen und der proportionalen Kostenanteile. IX. Die Zonen degressiver und progressiver Kosten. Die Proportionalitätsgerade. X. Erörterung der Kosten- und Gewinngestaltung bei von 100% abfallender Beschäftigung. XI. Kostenentwicklung bei über 100% steigendem Beschäftigungsgrad. XII. Schlußbetrachtung.

Siebentes Heft:
Der Einfluß des Beschäftigungsgrades auf die industrielle Kostenentwicklung
Von **Herbert Peiser**
Mitglied des Vorstandes der Bamag Meguin A.-G. Berlin
26 Seiten mit 13 Abbildungen. 1924. 1.80 R.M.

Sechstes Heft:
Intensitätsmessung in der Industrie
Von
Dipl.-Ing. W. Steinthal
61 Seiten mit 26 Abbildungen. 1924. 2.70 R.M.

Fünftes Heft:
Die Verrechnungspreise in der Selbstkostenrechnung industrieller Betriebe
Von **Dr. Theodor Beste**
Privatdozent der Betriebswirtschaftslehre an der Universität Köln
72 Seiten. 1924. 3 R.M.

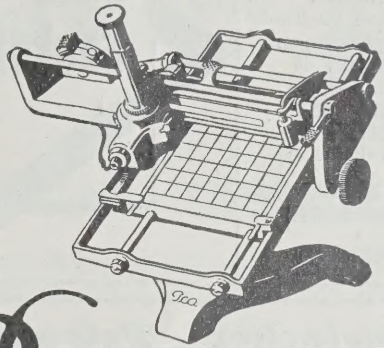
VERLAG VON JULIUS SPRINGER IN BERLIN W 9



Theodolite / Tachymeter
Nivellier-Instrumente

OTTO FENNEL SÖHNE
CASSEL 3
Gegründet 1851

Ica



Densograph

Registrierapparat für Ermittelung von Schwärzungskurven photogr. Platten und Papiere nach Prof. Dr. Goldberg.

Unentbehrlich für wissenschaftliche Forschungen u. Prüfungen in der Fabrik.

PROSPEKT KOSTENFREI

Ica Aktiengesellschaft Dresden 140

Soeben erschien:

Das Mikroskop und seine Anwendung

Handbuch der praktischen Mikroskopie
und Anleitung zu mikroskopischen Untersuchungen

nach

Dr. Hermann Hager

in Gemeinschaft mit

Dr. O. Appel
Prof. und Geh. Regierungsrat, Direktor der Biolog. Reichsanstalt für Land- und Forstwirtschaft zu Berlin-Dahlem

Dr. G. Brandes
ehem. Professor der Zoologie an der Tierärztlichen Hochschule, Direktor des Zoologischen Gartens zu Dresden

Dr. E. K. Wolff
Privatdozent für allgemeine Pathologie und spez. pathol. Anatomie an der Universität Berlin

neu herausgegeben von

Dr. Friedrich Tobler

Professor der Botanik an der Technischen Hochschule,
Direktor des Botanischen Instituts u. Gartens zu Dresden

Dreizehnte, völlig umgearbeitete Auflage

383 Seiten mit 482 Abbildungen im Text. Gebunden 16.50 RM.

Die 13. Auflage des Hagerschen Buches „Das Mikroskop" ist von Professor Tobler-Dresden, dem neuen Herausgeber, und seinen bewährten Mitarbeitern gründlich durchgearbeitet und verbessert worden. Das Hagersche „Mikroskop" stellt sich auch in der neuen Bearbeitung wieder das Ziel, jedem, der mit dem Mikroskop umzugehen lernen will oder umgehen muß, als bestes, nie versagendes Handbuch der praktischen Mikroskopie zu dienen.

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9

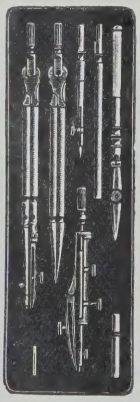
Meßinstrumente
für technische u. wissenschaftliche Zwecke
*
Spannungsanzeiger
nach Professor Zipp, D.R.P. 165 574, zum gefahrlosen Nachweis von Spannungen bis 5000 Volt
*
Überspannungs-sicherungen
für Kabelnetze
*
Apparate zum Aufsuchen von Kabelfehlern
*
Galvanoskope

Land- und Seekabelwerke A.-G. Köln-Nippes

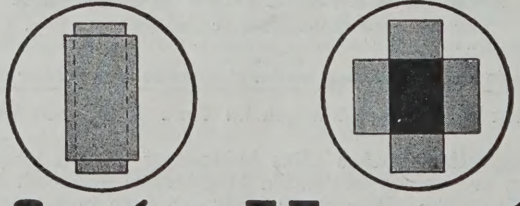
Meßbrücken
*
Widerstände
*
Hörnerfunkenstrecken
*
Scalenfernrohre
*
Variable Selbstinduktions-Normale
etc.
*
Elektrische Kabel
für Licht u. Kraft, Telephonie und Telegraphie
*
Isolierte Leitungen
*
Gummischlauchleitungen
*
Dynamodrähte

Feldstecher – Prismen
jeder Konstruktion
Planparallel-Optik
Versilberung
aller Art und
Rundoptik
fertigt
HEINRICH SCHÖNFELD
Optische Anstalt
Wedel b. Hamburg

Ich suche und kaufe:
Zeitschrift f. Instrumentenkunde.
Jahrgänge 1896 u. 1920 **mit Beiblättern.**
Evtl. Tausch gegen die Jahrgänge 1923–1925.
Zahle hohen Preis.
Auch Ankauf einer kplt. Serie seit Erscheinen kommt in Frage. Angebote erbeten.
Richard Kühn Nachf.
Leipzig, Leplaystraße 6. [6423]

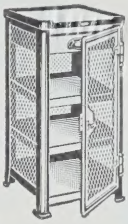

Präzisions-**Reißzeuge**
(Rundsystem)
Astronomische **Uhren**
Nickelstahl-Kompensations-**Pendel**
::::::
Clemens Riefler
Fabrik mathematischer Instrumente
Nesselwang u. **München**
Gegründet 1841

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9
Soeben erschien:
Fehlands
Ingenieur-Kalender 1926
für Maschinen- und Hütten-Ingenieure.
Herausgegeben von Professor **P. Gerlach**
unter Mitwirkung von
Betriebsdirektor Dipl.-Ing. Erbreich in Tangerhütte, Professor Dipl.-Ing. Coenen, Professor Dr.-Ing. Schimpke, Professor Dr.-Ing. Unold und Professor Dipl.-Ing. Zietemann in Chemnitz.
48. Jahrgang. – In zwei Teilen
I. Teil gebunden. II. Teil geheftet Preis 5 RM.

Dr. Steeg & Reuter – Bad Homburg v. d. Höhe

Kristalloptik
Polarisations-Prismen Polarisations-Instrumente
Spektralprismen aus Quarz und Glas
[6466]

An jede Maschine
einen
Werkzeugschrank

ROWAC



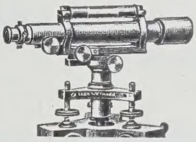
Robert Wagner / Eisenwarenfabrik / Chemnitz-Ik.

DUPA
ist
die
Marke des
Präzisions-
Rechenstabes

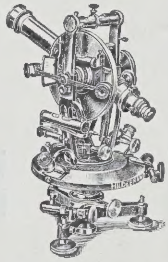
DP

Dennert & Pape / Altona
Vermessungs-Instrumente

Gebr. Wichmann
M. B. H.
Zeichengeräte ⋆ Vermessungsinstrumente
Bürobedarf
Berlin NW 6 — Karlstraße 13/14



Nivellier-
instrumente
Theodolite
Kippregeln
Meßtische — Mikroskope
Winkel-Spiegel u. Prismen
Winkelköpfe — Bussolen
Routen-Kompasse
Sextanten
Anemometer



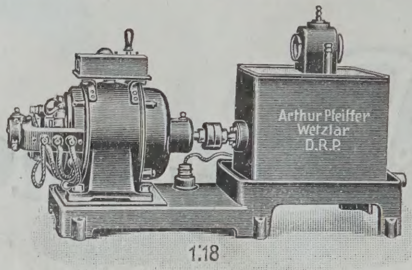
Sämtliche Bedarfsartikel für
Landmesser, Markscheider
und Forstbeamte

Spezialkataloge frei!

H R W
Gegründet 1791
[6197]

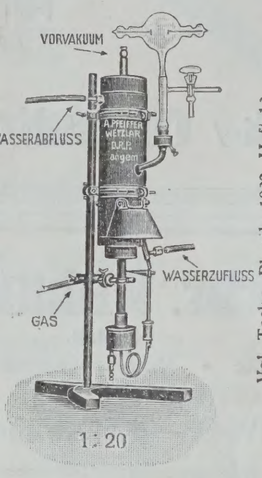
HILDEBRAND
Präzisions-Instrumente
für alle Zweige des Vermessungswesens
MAX HILDEBRAND
früher August Lingke & Co.
G. m. b. H.
FREIBERG-SACHSEN 50

Pfeiffer's



Rotierende Oel-Luftpumpe D.R.P.

Quecksilber-Dampfstrahl-Pumpe ganz aus Stahl
D.R.P. angem.



Vgl. Techn. Physik, 1922, Heft 12.
Physik. Zeitschr. 1922, pag. 463.

15 Ltr.
bis zum Aussetzen jeder Entladung in **10 Sek.** von Vorvacuum ab.

Hochvacuum-Pumpen, Vacua bis 1/1000000 mm Hg Saugleistung bis **120** cbm p. Stunde

Photometer aller Systeme

Oel-Prüfapparate, Schnellviskosimeter D.R.P. etc.

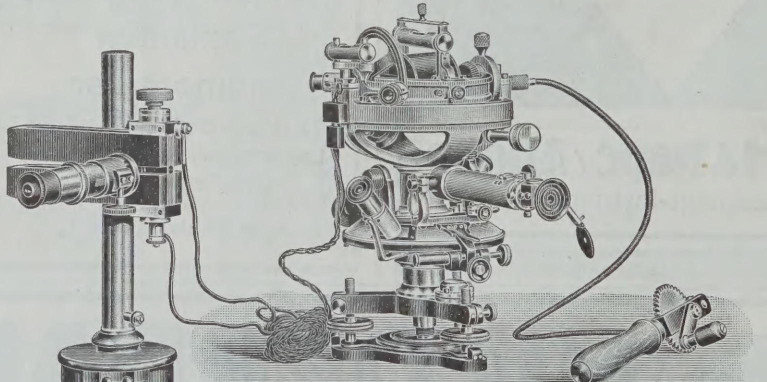
Funken-Induktoren bis 1000 mm Funkenlänge

Oscillographen für die Technik

Arthur Pfeiffer, Wetzlar 6.

Listen „F" anfordern.

SARTORIUS



Magnettheodolite
*
Komplette Instrumentarien

SARTORIUS-WERKE A.G. GÖTTINGEN

Erdinduktorien
*
für Reise und Station.

Druckschriften „Astro" kostenfrei.

Hierzu eine Beilage der Verlagsbuchhandlung Julius Springer in Berlin W 9.

UNIVERSITY OF ILLINOIS-URBANA
3 0112 060782056